

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

для проведення практичних занять, лабораторних робіт, виконання курсової  
роботи та самостійної роботи  
з навчальної дисципліни

**«НАДІЙНІСТЬ ВОДОПРОВІДНО-КАНАЛІЗАЦІЙНИХ  
СИСТЕМ»**

*(для студентів 3 курсу денної і 2 курсу заочної форм навчання  
напряму підготовки 6.060101 – Будівництво (фахове спрямування  
«Водопостачання та водовідведення»))*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2016**

Методичні вказівки для проведення практичних занять, лабораторних робіт, виконання курсової роботи та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Надійність водопровідно-каналізаційних систем» (для студентів 3 курсу денної і 2 курсу заочної форми навчання напряму підготовки 6.060101 – Будівництво (фахове спрямування «Водопостачання та водовідведення»)) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : М. В. Дегтяр. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 78 с.

Укладач      канд. техн. наук, доц. М. В. Дегтяр

Рецензенти:      С. С. Душкін, доктор технічних наук, професор  
Харківського національного університету міського  
господарства ім. О. М. Бекетова;  
К. Б. Сорокіна, кандидат технічних наук, доцент  
Харківського національного університету міського  
господарства ім. О. М. Бекетова;

*Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення і очищення вод,  
протокол № 1 від 27.08.2015 р.*

## ЗМІСТ

### МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ.....

5

#### ЗМ 1 Основні визначення і проблеми надійності ВК систем

##### Практичне заняття № 1

*Випадкові величини і основні теоретичні закони їх розподілення.....*

5

##### Практичне заняття № 2

*Відмова. Вплив відмов на показники якості функціонування систем водопостачання і водовідведення.....*

8

##### Практичне заняття № 3

*Спостереження і оцінка їх результатів.....*

12

##### Практичне заняття № 4

*Загальні принципи підвищення надійності. Види резервування.....*

17

##### Практичне заняття № 5

*Показники надійності технічних систем.....*

24

#### ЗМ 2 Підвищення ступеня безпеки та надійності систем водопостачання

##### Практичне заняття № 6

*Сучасні методи визначання технічного стану мереж водопостачання.....*

30

##### Практичне заняття № 7

*Забезпечення безпеки та надійності систем водопостачання в період проектування та будівництва.....*

32

##### Практичне заняття № 8

*Сучасні методи будівництва та реконструкції водопровідних мереж та споруд.....*

33

##### Практичне заняття № 9

*Технічне обслуговування систем водопостачання.....*

36

#### ЗМ 3 Підвищення ступеня безпеки та надійності систем водовідведення

38

##### Практичне заняття № 10

*Методи підвищення надійності систем.....*

38

### МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

#### ЗМ 1 Основні визначення і проблеми надійності ВК систем.....

40

##### Лабораторна робота № 1

**Визначення показників дефектності прокладання трубопроводів...**

40

##### Лабораторна робота № 2

**Спостереження за об'єктами водопостачання для визначення їх працездатності.....**

43

<i>Лабораторна робота № 3</i>	
<b>Визначення показників надійності відновлювальних елементів....</b>	<b>48</b>
<b>ЗМ 2 Підвищення ступеня безпеки та надійності систем водопостачання</b>	<b>51</b>
<i>Лабораторна робота №4</i>	
<b>Проведення експертних оцінок при розрахунках потоків відмов трубопроводів.....</b>	<b>51</b>
<i>Лабораторна робота №5</i>	
<b>Використання сучасних методів будівництва та реконструкції водопровідних мереж.....</b>	<b>57</b>
<b>ЗМ 3 Підвищення ступеня безпеки та надійності систем водовідведення</b>	
<i>Лабораторна робота №6</i>	
<b>Основні причини зниження надійності каналізаційних мереж. Підвищення надійності та довговічності роботи мереж водовідведення за рахунок санації.....</b>	<b>61</b>
<b>МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....</b>	<b>63</b>
<b>Теоретична частина.....</b>	<b>63</b>
<b>Розрахункова частина.....</b>	<b>67</b>
<b>МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ .....</b>	<b>69</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>77</b>

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

### ЗМ 1 Основні визначення і проблеми надійності ВК систем

#### Практичне заняття № 1

##### *Випадкові величини і основні теоретичні закони їх розподілення*

Випадкові величини можуть бути: – *дискретними* ( $\xi$ ) — якщо є кінцеве або рахункове число значень  $x_1, x_2, \dots, x_n$  та *безперервними*, коли випадкова величина може приймати будь-яке чисельне значення.

Дискретну величину, можна приймати з відповідною ймовірністю появи  $P_1, P_2, \dots, P_n$ , причому  $\sum P_n = 1$ .

*Ряд розподілу випадкових величин:*

$$\begin{aligned} & (x_1, x_2, \dots, x_n, \dots) \\ & (P_1, P_2, \dots, P_n, \dots) \end{aligned}$$

Математичне очікування (середнє значення) випадкової величини:

$$M_\xi = \sum x_k \cdot P_k \quad (1.1)$$

Наприклад, момент паралельного порядку:  $M^2_\xi = \sum x^2_k \cdot P_k$

При спостереженні змін обсягів водопостачання й водовідведення отримані чисельні значення є випадковими величинами.

Безперервні випадкові величини: обсяг водоспоживання, водовідведення; витрата води джерела; рівень води в річці.

Число відмов (аварій) елементів систем водопостачання та водовідведення є дискретною випадковою величиною.

*Дисперсія* випадкової величини  $\xi$ :

$$D\xi = M(\xi - M\xi)^2 = M\xi^2 - (M\xi)^2 \quad (1.2)$$

Дисперсія є мірою розкиду можливих значень випадкової величини: – якщо  $D$  мала, то великі відхилення від очікуваного результату малоімовірні.

*Безперервна* випадкова величина – якщо вона може приймати будь-які чисельні значення з деякого інтервалу  $[A, B]$ , які можуть бути й нескінченними.

Імовірність безперервної випадкової величини:

$$P_{(a,b)} = \int_a^b f(x) dx, A \leq a \leq b \leq B \quad (1.3)$$

де  $f(x)$  — щільність імовірності ( $f(x) \geq 0$ ).

*Функція розподілу випадкової величини  $\xi$*

$$F(x) = \int_a^b f(x) dx, \quad (1.4)$$

#### Основні теоретичні закони розподілу випадкових величин

Відомо близько 160 законів розподілу щільності ймовірностей. На практиці використовуються деякі найпоширеніші: біноміальний, Пуасона, експонентний, нормальний розподіл.

**Біноміальний розподіл** має місце в тому випадку, коли ймовірність появи події (х) в (n) незалежних дослідах постійна й дорівнює (P). Ймовірності появи (х) подій у серії з (n) випробувань відповідає функція розподілу:

$$f(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x q^{(n-x)}, \quad (1.5)$$

де  $p$  – імовірність відмови;

$q = 1 - p$  – імовірність появи події.

Середнє значення  $\mu = n \cdot p$ ; середньоквадратичне відхилення  $\sigma = \sqrt{n \cdot p \cdot q}$ .

Якщо  $p$  дуже мало, наприклад  $p = 0,02$  і  $q = 1$ , а  $\mu$  набагато більше  $p$ , біноміальний розподіл трансформується до виду:

$$f(x) = \frac{e^{-\mu} (\mu)^x}{x!}; \mu = n \cdot p; \sigma = \sqrt{n \cdot p} = \sqrt{\mu}. \quad (1.6)$$

Це так званий розподіл Пуассона, характерний для числа появи рідких подій дискретної випадкової величини.

Якщо ж величина  $p$  велика й відповідно  $n \cdot p$  теж, наприклад:  $p \geq 0,5$ , а  $n \cdot p \geq 5$ , біноміальний розподіл може бути представлений у вигляді:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}; \mu = n \cdot p; \sigma = \sqrt{npq}. \quad (1.7)$$

Це нормальний або гаусовий розподіл.

Для експонентного закону розподілу:

$$\begin{cases} f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \text{ при } x > 0 \\ f(x) = 0 \text{ при } x < 0 \end{cases}; \mu = \frac{1}{\lambda}; \sigma = \frac{1}{\lambda}, \quad (1.8)$$

де  $\lambda$  – параметр, що характеризує частоту відмов.

При рішенні практичних завдань нерідко досить визначити тільки математичне очікування, дисперсію й середньоквадратичне відхилення.

Математичне очікування дискретних випадкових величин визначається:

$$m_x = M(X) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P_i. \quad (1.9)$$

Математичне очікування безперервних випадкових величин:

$$m_x = M(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx. \quad (1.10)$$

Математичне очікування за біноміального розподілу:

$$m_x = n \cdot p. \quad (1.11)$$

Дисперсія дискретних випадкових величин:

$$D(x) = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 P_i . \quad (1.12)$$

Дисперсія безперервних випадкових величин:

$$D(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx. \quad (1.13)$$

Дисперсія величин за біноміального розподілу:

$$D(x) = n \cdot p \cdot q . \quad (1.14)$$

Середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} . \quad (1.15)$$

### Приклади розв'язування задач

**Приклад 1.1** При обстеженні 100 розприскувачів виявлено  $X$  бракованих виробів. Ймовірність появи бракованого виробу – 0,01. Визначити математичне очікування, дисперсію та середню кількість бракованих розприскувачів.

#### Розв'язання

Закон розподілення для даної системи – біноміальний. Математичне очікування для такої системи дорівнює:

$$m_x = n \cdot P = 100 \cdot 0.01 = 1 \text{ розприскувач.}$$

Дисперсія:

$$D(X) = n \cdot P \cdot q = 100 \cdot 0.01 \cdot 0.99 = 0.99$$

Середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma_x = \sqrt{D} = \sqrt{0.99} = 0.99 \approx 1 \text{ розприскувач.}$$

### Варіанти задач для розв'язання

**Задача №1.1.** Визначити математичне очікування  $m_x$ , дисперсію  $D(X)$ , і середнє квадратичне відхилення  $\sigma_x$  кількості бракованих розприскувачів біофільтра.

Вихідні данні	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Ймовірність, (P)	0,05	0,08	0,12	0,15	0,20
Кількість розприскувачів (n)	80	120	150	175	200

**Задача №1.2** Визначити математичне очікування появи події,  $m$ .

Вихідні дання	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Ймовірність появи події, $m$	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1

## Практичне заняття № 2

*Відмова. Вплив відмов на показники якості функціонування систем водопостачання і водовідведення*

**Відмови системи** (події, що полягають у порушенні нормального виконання нею функцій водопостачання та водовідведення об'єкта) досить різноманітні. Ушкодження будь-якого елемента або споруди системи впливає на якість функціонування системи в цілому. Масштаби цього впливу визначаються роллю й значенням елемента, що відмовив.

Поняття надійності об'єкта включає наступні властивості: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, здатність до збереження, а також ефективність.

Технічні системи залежно від параметрів їхніх елементів можуть перебувати в наступних станах:

**справний** (працездатний), коли параметри об'єкта відповідають всім вимогам нормативно-технічної й конструкторської документації;

**несправний** (непрацездатний), при якому об'єкт не відповідає хоча б одному з вимог нормативно-технічної й конструкторської документації;

**граничний** – стан, при якому подальше застосування об'єкта за призначенням неприпустимо або недоцільно, або відновлення його з непрацездатного (несправного) стану недоцільно.

**Відмова** – це подія, при якому об'єкт переходить у непрацездатний стан.

**Ушкодження** – об'єкт переходить у несправний, але працездатний стан.

У техніці відомі різні класифікації відмов:

1. *За часом виникнення* в період експлуатації технічної системи розрізняють три групи відмов:

- а) періоду припрацювання;
- б) періоду нормальної експлуатації;
- в) періоду інтенсивного зношування.

2. *За характером виникнення* розрізняють раптові й поступові відмови. *Раптовою* називається відмова, що характеризується стрибкоподібною зміною значень одного або декількох заданих параметрів об'єкта.

*Поступова* відмова характеризується поступовою зміною параметрів. *Перемежованою* називається – багаторазово виникаюча відмова, того ж самого характеру, що самоусувається,

3. *По зв'язку між собою* бувають залежні й незалежні відмови.

*Незалежна* – відмова об'єкта, не обумовлена іншими відмовами.

*Залежна* – відмова об'єкта, обумовлена відмовами інших елементів.

4. *Залежно від причини виникнення:*

*конструкційні відмови* обумовлені недосконалістю конструкції об'єкта (неправильно обраний матеріал, навантаження і т.п.);

*виробничі відмови* виникають у результаті недосконалості або порушення встановленого процесу виготовлення або ремонту об'єкта;

*експлуатаційні* – відмови, що виникли в результаті порушення правил і (або) умов експлуатації об'єкта.



У практиці оцінки надійності технічних об'єктів поступові відмови називають параметричними, а надійність по відношенні до таких відмов – *параметричною*.

**1. Параметром потоку відмов  $\omega(t)$**  називається відношення числа елементів, що відмовили, в одиницю часу до числа випробовуваних елементів за умови, що всі елементи, що вийшли з ладу, замінюються справними.

$$\omega(t) = \frac{n_{\Delta t}}{N \Delta t}, \quad (2.1)$$

де  $n_{\Delta t}$  – число елементів, що відмовили, в інтервалі часу  $t$ ;

$N$  – число випробовуваних елементів;

$\Delta t$  – величина інтервалу часу.

Іноді  $\varpi(t)$  називають **середньою частотою відмов**.

По визначенню  $\varpi(t)$  близько за змістом величині  $\lambda(t)$ , однак теоретично доведено, що  $\omega(t) = \lambda(t)$ , тільки при  $\lambda(t) = \text{const}$ . Численні дослідні дані показують, що функція  $\lambda(t)$ , має три характерних періоди (рис. 2.1).

*Перший період* від 0 до  $T_n$ , є періодом припрацювання коли відмовляють ті елементи, які мають серйозні дефекти. Інтенсивність відмов досить велика, але швидко зменшується. Час  $T_n$  називається *періодом припрацювання*.

*Другий період* від  $T_n$  до  $T_u$  називають періодом нормальної роботи. Він характеризується невеликою постійною величиною інтенсивності відмов. Час  $T_u$  – називають часом початку старіння і зношування.

*Третій період* при  $t > T_u$  є періодом старіння та зношування елементів. Термін служби елементів повинен прийматися не більш ніж  $T_u$ . Тоді при невеликій величині періоду припрацювання можна вважати  $\lambda$  величиною постійної, і звідси можна вважати  $\varpi(t) = \lambda(t) = \text{const}$ . Така залежність характерна для ремонтованих і неремontованих виробів у більшості технічних систем.

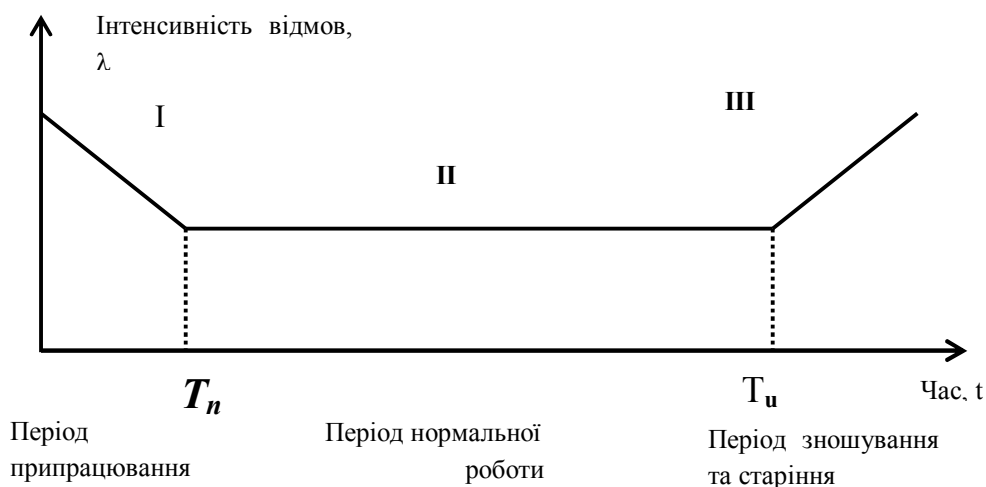


Рисунок 2.1 – Характерна залежність інтенсивності зношування від часу експлуатації

**2. Наробітком на відмову**  $t_{cp}$  називають середнє значення часу роботи елементів між сусідніми відмовами.

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (2.3)$$

де  $t_{cp}$  – час справної роботи елемента між  $i$ -ю та  $i+1$ -ю відмовами;  
 $n$  – число відмов за якийсь час  $t$  (період спостережень).

### Приклади розв'язування задач

**Приклад 2.1** При випробовуванні обладнання було зареєстровано 10 відмов. До початку випробовування обладнання пропрацювало 200 годин. Загальне напрацювання обладнання складає - 2000 годин. Визначити середнє напрацювання на відмову.

#### Розв'язання

Тривалість випробування

$$t = t_1 - t_2 = 2000 - 200 = 1800 \text{ годин.}$$

Середнє напрацювання на відмову:

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{1800}{10} = 180 \text{ годин.}$$

**Приклад 2.2** При спостереженні за роботою 3-х зрошувальних установок було зареєстровано: по першій установці - 10 відмов, по другій - 12, по третій - 9. Напрацювання першої установки складає – 200 годин, другої - 240 годин, третьої - 180 годин. Визначити середнє напрацювання на відмову для зрошувальних установок.

#### Розв'язання

Загальне напрацювання установок

$$t_{\Sigma} = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij} = 200 + 240 + 180 = 620 \text{ годин.}$$

Загальна кількість відмов:

$$n_{\Sigma} = \sum_{j=1}^N n_j = 10 + 12 + 9 = 31 \text{ відмова.}$$

Середнє напрацювання на відмову:

$$t_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij}}{\sum_{j=1}^N n_j} = \frac{620}{31} = 20 \text{ годин}$$

**Приклад 2.3** При випробовуванні фільтрувальної установки, до складу якої входить 15 фільтрів, встановлено, що за перші 24 години відмовило 6 штук, за наступні 25 діб відмовило 2 фільтра, за останні 4 доби відмовило 5. Весь період експлуатації склав 30 діб. Визначити параметр потоку відмов за період напрацювання (24години). Напрацювання на відмову в період нормальної роботи, і середнє напрацювання за весь час експлуатації. Згідно даних задачі побудувати графік залежності і інтенсивності зношування від часу експлуатації.

#### Розв'язання

$$\omega(t) = \frac{n_{\Delta t}}{N \Delta t} = \frac{6}{15 \cdot 24} = 0,017$$

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{24 \cdot 25}{2} = 300 \text{ годин}$$

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{720}{13} = 55,3 \text{ години}$$

#### Варіанти задач для розв'язання

**Задача №2.1** Визначити середнє напрацювання на відмову.

Вихідні данні	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Загальне напрацювання установки на відмову $t_1$ , год.	1500	1700	1800	180	200
Час роботи установки до початку випробовування $t_2$ , час.	150	170	190	200	210
Кількість відмов, $n$	5	7	9	11	13

**Задача №2.2** Визначити середнє напрацювання на відмову для розприскувача установок зрошувальної системи.

Вихідні дання	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Напрацювання першої установки на відмову $t_1$ , год.	150	170	190	210	230
Напрацювання другої установки на відмову $t_2$ , год	190	210	230	250	270
Напрацювання третьої установки на відмову $t_3$ , год	165	175	185	195	205
Кількість відмов по першій установці, $n$	5	7	9	11	13
Кількість відмов по другій установці, $n$	7	9	11	13	15
Кількість відмов по третій установці, $n$	8	10	12	14	16

### Задача №2.3.

Визначити параметр потоку відмов за період напрацювання. Напрацювання на відмову в період нормальної роботи, і середнє напрацювання за весь час експлуатації. Згідно даних задачі побудувати графік залежності і інтенсивності зносу від часу експлуатації.

Вихідні данні	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Період нормальної роботи $t_1$ , год.	1440	720	2160	1200	480
Період інтенсивного старіння та зношування $t_2$ , год.	240	480	360	864	480
Період напрацювання $t_3$ , год.	25	48	24	56	64
Кількість насосів, N	10	20	47	15	28
Кількість відмов в період напрацювання, n	2	2	11	4	5
Кількість відмов в період нормальної роботи, n	1	3	5	2	2
Кількість відмов в період інтенсивного старіння та зношування, n	8	10	23	5	7

### Практичне заняття № 3

#### Спостереження і оцінка їх результатів

Результати спостережень за об'єктами техніки являють собою **випадкові величини**, оскільки залежать від випадкової комбінації різних факторів.

Випадкові величини можуть бути безперервними або дискретними.

**Безперервна випадкова** величина може приймати будь-яке чисельне значення. **Дискретна** ж приймає тільки цілі значення. Наприклад, число аварій може бути тільки цілим. Випадкова величина позначається (X).

Однієї з статистик є середнє або середньоарифметичне значення вимірів –  $(\bar{x})$ , якщо випадкова величина позначена через x і називається математичним очікуванням. Якщо вибірка містить всю генеральну сукупність, то середнє значення  $\bar{x}$ , позначається  $\mu$ :

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (3.1)$$

До числа характеристик також відносять *інтервал значень, медіану, частоту події, імовірність події, дисперсію*.

Розглянемо на прикладі, які параметри застосовуються найчастіше і як вони обчислюються.

#### Приклади розв'язування задач

##### Приклад 3.1

Наприклад, у процесі виміру терміну служби 50 ртутно–кварцових ламп були отримані такі дані (впорядковані):

n=50

3520	3710	3790	3840	3890	3940	3960	3980	4070	4250
3570	3730	3810	3850	3910	3950	3960	4010	4080	4280
3610	3750	3810	3880	3910	3950	3970	4010	4130	4360
3630	3770	3820	3880	3910	3950	3980	4020	4150	4390
3670	3780	3830	3880	3930	3960	3980	4050	4180	4460

тут  $\bar{x}=3854,6$

$\Sigma=192730$

Найбільше значення – 4460

Найменше значення – 3520

Різниця між максимальним і мінімальним значенням (940) – називається *інтервалом* або *варіацією*. Середнє значення цих двох величин називається *серединою інтервалу* (3990). Інтервал є характеристикою розкиду значень випадкової величини  $x$ .

Число, що ділить ряд вимірів на 2 рівні частини, називається **медіаною**. У цьому випадку медіаною буде число 3935, бо воно є середнім між двома центральними 3930 і 3940. Якщо  $n$  число непарне, то центральне число і є медіаною.

Існує певна частота появи події на всьому інтервалі виміру, що для зручності розбивають на ряд відрізків, які залежать від кількості вимірів  $n$ . Існують певні рекомендації для вибору інтервалів залежно від кількості числа вимірів, наприклад для  $n=40-100$ ,  $K$  (кількість інтервалів) = 7–9;

$n=100-500$ ,  $K=8-12\dots$ ;

Для простоти і зручності візьмемо  $K=10$ , а інтервал значень виберемо від 3500 до 4500. Потім підрахуємо кількість вимірів, що потрапили в кожний інтервал, ці величини називаються **спостережуваною частотою**.

Спостережувану частоту перераховуємо у відносну  $\frac{m_i}{n}$ ;

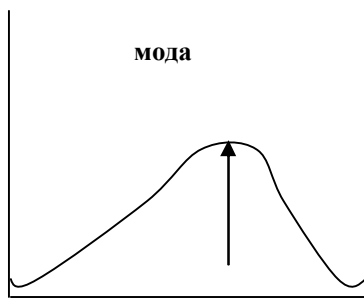
Далі на підставі даних таблиці будується графік зміни відносної частоти по інтервалах. Отримана діаграма називається гістограмою диференціального розподілу.

Результат обробки вимірів терміну служби ртутно-кварцевих ламп:

Інтервали	3500–3600	3600–3700	3700–3800	3800–3900	3900–4000	4000–4100	4100–4200	4200–4300	4300–4400	4400–4500
Спостережувана частота, $m_i$	2	3	6	0	5	6	3	2	2	1
Відносна частота, $m_i/n$	0,04	0,06	0,12	0,20	0,30	0,12	0,06	0,04	0,04	0,02
Накопичена частота, $\Sigma m_i/n$	0,04	0,10	0,22	0,42	0,72	0,84	0,90	0,94	0,98	1,00

Ордината на графіку називається відносною частотою. Якщо гістограма будується на основі генеральної сукупності, то відносна частота буде ймовірністю потрапляння виміру усередину певного інтервалу. У цьому випадку число інтервалів повинне бути нескінченно великим, а ширина дуже малою і ламана лінія перетвориться в криву – функцію розподілу щільності ймовірностей  $f(x)$ .

Значення  $x$ , при якому  $f(x)$  досягає максимального значення називається **модой розподілу**.



За звичай мода відповідає величині, що найбільш часто зустрічається у вимірах. Якщо відносні частоти підсумувати від інтервалу до інтервалу, то одержуємо **накопичені частоти**. Ламана лінія, що відбиває зміни накопиченої частоти називається **гістограмою інтегрального розподілу**.

### Варіанти задач для розв'язання

**Задача №3.1** Результат випробувань терміну функціонування засипки побутових фільтрів.

$n=50$

2220	2380	2340	2590	2660	2740	2820	2920	3010	3090
2250	2420	2560	2590	2680	2750	2830	2940	3020	3120
2290	2470	2560	2610	2710	2770	2840	2950	3020	3150
2320	2510	2560	2620	2710	2780	2860	2970	3050	3170
2350	2530	2580	2640	2730	2790	2880	2990	3070	3190

де  $x =$

$\Sigma =$

Найбільше значення -

Найменше значення -

Інтервал чи варіація.

Середина інтервалу.

**Медіана -**

Результат обробки вимірювань терміну функціонування фільтрів, завантажених активованим вугіллям різних марок.

Інтервали										
Частота, що спостерігається, $m_i$										
Відносна частота, $m_i / n$										
Накопичена частота, $\Sigma m_i / n$										

**Задача №3.2** Результат випробувань терміну функціонування насосної станції

$n=50$

1110	1200	1310	1390	1470	1530	1570	1650	1750	1890
1120	1220	13330	1410	1490	1540	1580	1660	1770	1920
1140	1240	1340	1420	1510	1540	1590	1680	1790	1950
1150	1260	1350	1440	1520	1550	1620	1710	1830	1970
1180	1280	1370	1450	1520	1550	1640	1730	1850	1990

де  $\bar{x} =$

$\Sigma =$

Найбільше значення -

Найменше значення -

Інтервал чи варіація.

Середина інтервалу.

**Медіана -**

Результат обробки вимірювань терміну служби насосної станції.

<b>Інтервали</b>									
<b>Частота, що спостерігається, <math>m_i</math></b>									
<b>Відносна частота, <math>m_i/n</math></b>									
<b>Накопичена частота, <math>\Sigma m_i/n</math></b>									

2. Побудувати гістограму диференціального розподілення і визначити яка ймовірність того, що термін служби елемента не буде перевищувати 1500 годин.

**Задача №3.3** Результат випробувань терміну функціонування водопроводів

$n=30$

3610	3670	3720	3760	3820	3880	3930	3990	4070	4120
3620	3690	3730	3780	3840	3890	3950	4010	4090	4140
3640	3710	3740	3790	3860	3910	3970	4040	4110	4150

де  $\bar{x} =$

$\Sigma =$

Найбільше значення -

Найменше значення -

Інтервал чи варіація.

Середина інтервалу.

**Медіана -**

Результат обробки вимірювань строку служби водоводів

<b>Інтервали</b>						
<b>Частота, що спостерігається, <math>m_i</math></b>						
<b>Відносна частота, <math>m_i/n</math></b>						
<b>Накопичена частота, <math>\Sigma m_i/n</math></b>						

2. Побудувати гістограму диференціального розподілення і визначити моду розподілення.

**Задача №3.4** Результат випробувань терміну функціонування побутових фільтрів.

$n=40$

520	560	590	650	690	730	760	820	930	980
530	560	620	670	710	730	770	860	950	980
540	560	640	670	710	750	780	880	960	990
550	570	640	670	720	760	790	910	970	990

де  $\bar{x} =$

$\Sigma =$

Найбільше значення -

Найменше значення -

Інтервал чи варіація.

Середина інтервалу.

Медіана -

Результат обробки вимірювань строку служби побутових фільтрів.

Інтервали									
Частота, що спостерігається, $m_i$									
Відносна частота, $m_i / n$									
Накопичена частота, $\Sigma m_i / n$									

2. Побудувати гістограму диференціального розподілення і інтегрального розподілення.

**Задача № 3.5** Результат випробувань терміну функціонування допоміжного обладнання

$n=30$

740	760	780	820	870	890	960	980	1050	1090
740	760	790	840	880	920	960	1010	1050	1090
750	770	810	860	880	940	960	1030	1070	1110

де  $\bar{x} =$

$\Sigma =$

Найбільше значення -

Найменше значення -

Інтервал чи варіація.

Середина інтервалу.

Медіана -

Результат обробки вимірювань терміну служби допоміжного обладнання

Інтервали									
Частота, що спостерігається, $m_i$									
Відносна частота, $m_i / n$									
Накопичена частота, $\Sigma m_i / n$									



2. Побудувати гістограму диференціального розподілення і визначити яка ймовірність того, що термін служби елемента не буде перевищувати 1000 годин.

#### Практичне заняття № 4

*Загальні принципи підвищення надійності. Види резервування*

Технічні системи складаються з ряду елементів, поєднаних між собою. Елементами вважаються незалежні складові частини, на які можна розбити систему.

Бувають такі види з'єднань: послідовне і паралельне та комбіноване.

*Послідовне з'єднання*  $n$  елементів у систему характеризується тим, що вихід з ладу одного будь-якого елемента приводить до виходу з ладу всієї системи (рис. 4.1).

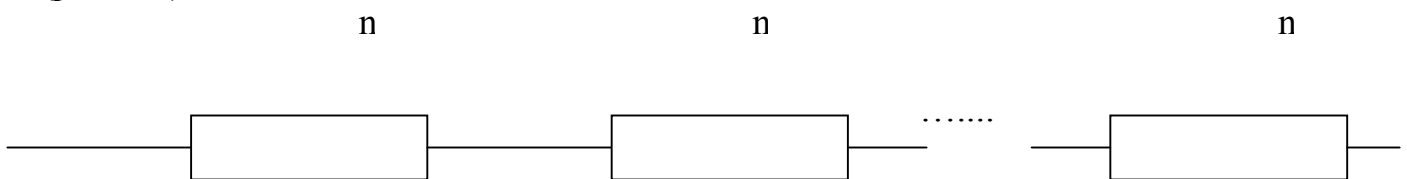


Рисунок 4.1 – Послідовне з'єднання елементів у системі

При *паралельному* з'єднанні  $n$  елементів до відмови системи приведе відмова всіх елементів (рис. 4.2).

Систему з паралельним з'єднанням називають також системою зі структурним резервуванням елементів (резервованою). Можливі також системи з комбінуванням обох видів з'єднань.

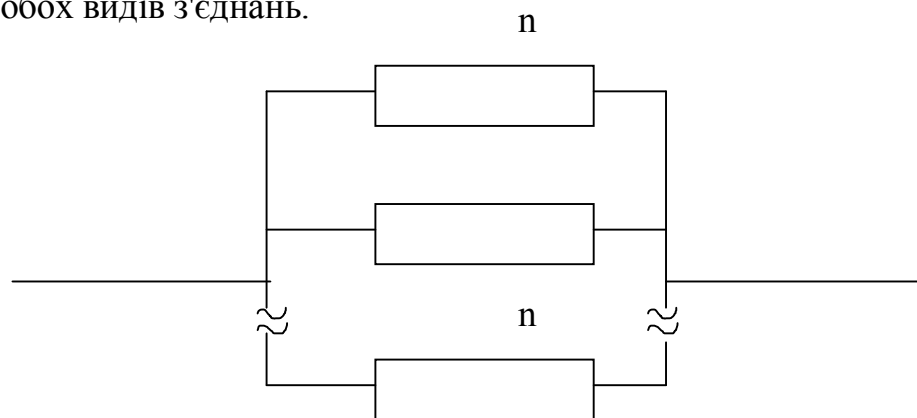


Рисунок 4.2 – Паралельне з'єднання елементів у систему

Резервування є одним з основних методів підвищення надійності технічних пристроїв, який дозволяє, принаймні теоретично, підвищувати надійність виробу до як завгодно великого рівня.

Сукупність основного і резервних елементів називається *резервною групою*.

При **загальному резервуванні** підвищення надійності досягається шляхом резервування системи в цілому (рис. 4.3 а), а при **роздільному** – окремих елементів системи (рис. 4.3 б).

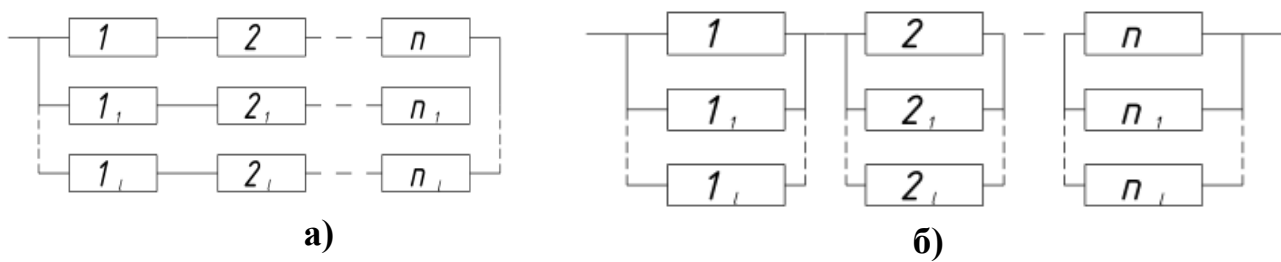


Рисунок 4.3 – Загальне (а) і роздільне (б) резервування

**Кратністю резервування** називають відношення числа резервних елементів до числа основних, і позначають **m**.

Резервування із цілою кратністю означає, що **m** є цілим числом, а із дробовою – величина **m** є дробовим нескороченим числом. Наприклад  $m = 4/2$  означає резервування із дробовою кратністю, при якому число резервних елементів дорівнює 4, число основних – 2, а загальне число елементів – 6. Якщо скоротити  $4/2=2$ , то це вже означає резервування із цілою кратністю, при якому число резервних елементів дорівнює 2, а число основних – 1, загальне число елементів – 3.

За способом включення резерву розрізняють:

- *постійне резервування*, виконується без перебудови структури у разі виникнення відмови його елемента;
- *динамічне резервування*, передбачає перебудову структури у разі відмови елемента;

*Тимчасове резервування* - це спосіб підвищення надійності, при якому системою в процесі функціонування надається можливість витратити якийсь час, званий резервним, для відновлення технічних характеристик. Резерв часу можна витратити на перемикання структурного резерву, виявлення і усунення відмов, повторення робіт, знецінених відмовами, очікування завантаження в працездатному стані. Наприклад тимчасове резервування здійснюється шляхом влаштування, наприклад регулюючих ємностей наприкінці водовода для створення запасу води під час ліквідації аварії.

При резервуванні ймовірність безвідмовної роботи елементів або в цілому всієї системи підвищується. Підвищення  $P_c(t)$  залежить від способу і характеру резервування. Нижче приводяться кілька формул для розрахунку характеристик надійності невідновлюваних зразків при основному з'єднанні елементів, під яким розуміється відмова технічного пристрою при відмові одного з його елементів. При розрахунку надійності таких пристроїв передбачається, що відмова елемента є подією випадковою і незалежною.

**Загальне резервування** з постійно включеним резервом і із цілою кратністю:

$$P_c(t) = 1 - \left[ 1 - \prod_{i=1}^n P_i(t) \right]^{m+1}, \quad (4.1)$$

де  $P_i(t)$  - імовірність безвідмовної роботи  $i$ -го елемента протягом часу  $t$ ,

$n$  - число елементів основного або будь-якого резервного ланцюга;

$m$  - кратність резервування.

При експонентному законі надійності

$$P_c(t) = 1 - [1 - e^{-\lambda_c t}]^{m+1}; \quad (4.2)$$

$$T_3 = (1/\lambda_c) \sum_{i=0}^m [1/(i+1)], \quad (4.2)$$

де  $\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i$  - інтенсивність відмов нерезервованої системи.

**Роздільне резервування з постійно включеним резервом з цілою кратністю** при експонентному законі надійності та ненавантаженому стані резерву:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n \{1 - [1 - P_i(t)]^{m_i+1}\}, \quad (4.4)$$

або

$$P_c(t) = \left\{ 1 - [1 - e^{-\lambda t}]^{m+1} \right\}^n, \quad (4.5)$$

$$T_3 = \frac{(n-1)!}{\lambda(m+1)} \sum_{i=0}^m \frac{1}{v_i(v_i+1)\dots(v_i+n-1)}, \quad (4.6)$$

де  $v_i = (i+1)/(m+1)$ ;  $i$  - порядковий номер елемента.

**Загальне резервування заміщенням із цілою кратністю:**

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_c t)^i}{i!}; \quad (4.7)$$

$$T_{3,c} = T_3(m+1), \quad (4.8)$$

де  $\lambda_c$ ,  $T_3$  - інтенсивність відмов і середній наробіток до першої відмови основного (нерезервованого) пристрою.

**Роздільне резервування заміщенням із цілою кратністю:**

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (4.9)$$

де  $P_i(t)$  - імовірність безвідмовної роботи системи через відмови елементів  $i$ -го типу, резервованих по способі заміщення; обчислюється по формулах загального резервування заміщенням формул (4.7) і (4.8).

**Загальне резервування із дробовою кратністю й постійно включеним резервом:**

$$P_c(t) = \sum_{i=0}^{l-h} C_l^i P^{l-i}(t)^j C_i^j P_j(t); \quad (4.10)$$

$$T_3 = (1/\lambda) \sum_{i=0}^{l-h} [1/(h+i)], \quad (4.11)$$

де  $P(t)$  - імовірність безвідмовної роботи основного або будь-якого резервного елемента;  $l$  - загальне число основних і резервних систем;  $h$  - число

систем, необхідних для нормальної роботи резервованої системи;  $C_l^i$  - число сполучень зі  $l$  зразків по  $i$ . У цьому випадку кратність резервування  $m = (l - h)/h$ .

Імовірність безвідмовної роботи системи дорівнює добутку ймовірностей безвідмовної роботи її елементів:

$$P_c(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_N(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t). \quad (4.12)$$

З формули (4.12) видно, що добуток буде тим більше, чим менше елементів ( $P_i < 1$ ). Отже, зниження числа пристроїв приводить до підвищення надійності.

Більше надійне устаткування має менші значення  $\lambda$ . У цьому випадку наробіток до першої відмови буде більшим у пристроїв, у яких  $\lambda$  буде найменшою.

### **Приклади розв'язування задач**

#### **Приклад 4.1**

Визначити ймовірність безвідмовної роботи з постійно ввімкненим резервом та з цілою кратністю  $m = 1$  при  $t = 8000$  год.

Розв'язання:

$$P_c(t) = 1 - \left[ 1 - e^{-\lambda t} \right]^{m+1} = 1 - \left[ 1 - 2,72^{-0,94 \cdot 10^{-4} \cdot 8000} \right]^2 = 0,72;$$

$$P_c(t) = 1 - \left[ 1 - e^{-2,06 \cdot 10^{-4} \cdot 8000} \right]^2 = 0,36.$$

#### **Приклад 4.2**

Визначити надійність автомобіля (системи) при русі на задану відстань, якщо відомі надійності наступних підсистем: системи запалювання  $p1 = 0,99$ ; системи живлення паливом і змащенням  $p2 = 0,999$ ; системи охолодження  $p3 = 0,998$ ; двигуна  $p4 = 0,985$ ; ходової частини  $p5 = 0,997$ .

### **Розв'язання**

Відомо, що відмова будь-якої підсистеми приводить до відмови автомобіля. Для визначення надійності автомобіля використовуємо формулу (4.12)

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot P_5 = 0,99 \cdot 0,999 \cdot 0,998 \cdot 0,985 \cdot 0,997 = 0,979$$

#### **Приклад 4.3**

Технічна система призначена для виконання деякого завдання. З метою забезпечення працездатності система спроектована зі змішаним сполучення елементів (рис. 4.4).

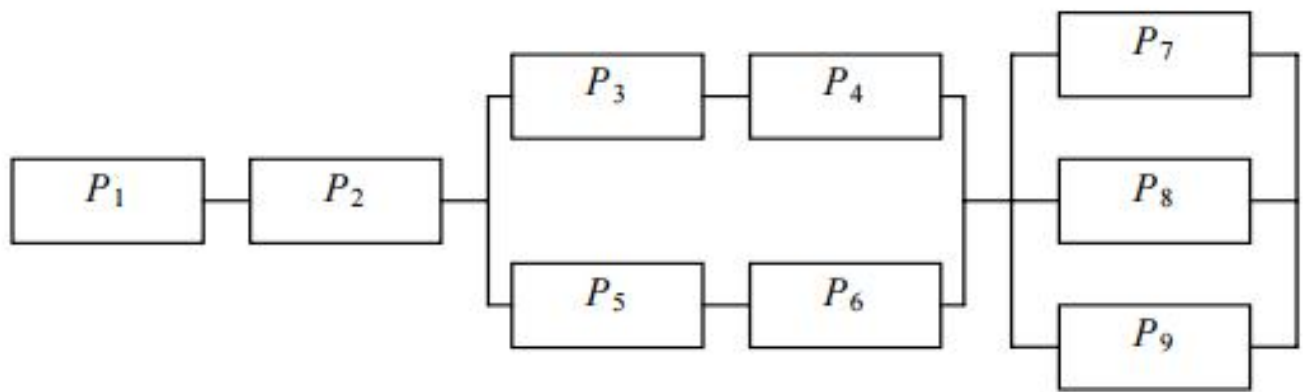


Рисунок 4.4 – Змішане сполучення елементів

Визначити надійність системи, якщо відомо, що надійність її елементів дорівнює:

$p_1=0,99; p_2=0,98; p_3=0,9; p_4=0,95; p_5=0,9; p_6=0,9; p_7=0,8; p_8=0,75; p_9=0,7$ .

Розв'язування .

При розрахунку надійності скористаємося формулами як для послідовного, так і для паралельного з'єднання елементів:

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot [1 - 1 - (1 - P_3 \cdot P_4)(1 - 1 - P_5 \cdot P_6)] [1 - 1 - (1 - P_7)(1 - 1 - P_8)(1 - 1 - P_9)] =$$

$$0,99 \cdot 0,98 [1 - 1 - (1 - 0,9 \cdot 0,95)(1 - 1 - 0,9 \cdot 0,9)] [1 - 1 - (1 - 0,8)(1 - 1 - 0,75)(1 - 1 - 0,7)] = 0,927$$

При розрахунку надійності дану систему представляють у вигляді структурної схеми з елементами, відмова яких приводить до відмови всієї системи, зображуються послідовно, а резервні елементи або ланцюги - паралельно. Варто мати на увазі, що конструктивне оформлення елементів, їх послідовне або паралельне з'єднання в конструкції ще не означає аналогічного зображення в структурній схемі надійності. Різницю між конструктивною (монтажною) і структурною схемами можна показати на прикладі роботи двох фільтрів гідросистеми, які для підвищення надійності роботи системи можуть бути встановлені послідовно або паралельно. Відмова фільтра може відбутися в результаті двох основних причин - засмічення сітки і її розриву.

#### Варіанти задач для розв'язання

Вихідні данні	Номера варіантів			
	1	2	3	4
Надійність елементів	$p_1=0,98; p_2=0,99; p_3=0,89; p_4=0,92; p_5=0,9; p_6=0,9; p_7=0,9; p_8=0,85; p_9=0,75$ .	$p_1=0,92; p_2=0,96; p_3=0,9; p_4=0,93; p_5=0,9; p_6=0,94; p_7=0,82; p_8=0,96; p_9=0,7$ .	$p_1=0,94; p_2=0,93; p_3=0,9; p_4=0,98; p_5=0,9; p_6=0,91; p_7=0,8; p_8=0,83; p_9=0,7$ .	$p_1=0,96; p_2=0,96; p_3=0,96; p_4=0,95; p_5=0,9; p_6=0,86; p_7=0,81; p_8=0,79; p_9=0,74$ .

#### Приклад 4.5

У компресорній станції встановлені дві повітродувки, одна з яких є ненавантаженим резервом. Інтенсивність відмови кожної повітродувки -  $1,2 \cdot 10^{-4}$

1/година. Система підкорюється експоненціальному закону розподілення. Визначити ймовірність безвідмовної роботи системи з резервом і без резерву, а також середній час безвідмовної роботи за 5000 годин.

**Розв'язання.** Система із загальним резервуванням заміщенням із цілою кратністю. Тоді ймовірність безвідмовної роботи системи без резерву.

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-1,2 \cdot 10^{-4} \cdot 5000} = 0,55$$

Ймовірність безвідмовної роботи резервованої системи

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda \cdot t)^i}{i!} = e^{-\lambda \cdot t} (1 + \lambda \cdot t) = e^{-1,2 \cdot 10^{-4} \cdot 5000} (1 + 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot 5000) = 0,96$$

Середній час безвідмовної роботи системи

$$T_c = \frac{1}{\lambda_0} (m + 1) = \frac{1}{1,2 \cdot 10^{-4}} (1 + 1) = 16667 \text{ годин}$$

#### Варіанти задач для розв'язання

Вихідні данні	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Інтенсивність відмови повітродувки $\lambda$ , 1/год	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Кратність резервування, m	1	1	1	1	1
Період роботи системи t, год.	4000	4200	4400	4600	4800

#### Приклад 4.6

На фільтрувальній станції встановлені два фільтри (катіонітний і аніонітний). Інтенсивність відмови фільтрів -  $0,2 \cdot 10^{-4}$  1 / год і  $0,4 \cdot 10^{-4}$  1 / год. Кожен фільтр має резервний. Визначити ймовірність безвідмовної роботи системи за 1000 годин

**Розв'язання.** Система з роздільним резервуванням заміщенням, тоді ймовірність безвідмовної роботи системи:

$$P(t) = \prod_{i=1}^m P_i(t) = P_1(t) \cdot P_2(t).$$

Ймовірність безвідмовної роботи катіонітових фільтрів:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda \cdot t)^i}{i!} = e^{-\lambda \cdot t} (1 + \lambda \cdot t) = e^{-0,2 \cdot 10^{-4} \cdot 1000} (1 + 0,2 \cdot 10^{-4} \cdot 1000) = 0,99$$

Ймовірність безвідмовної роботи аніонітових фільтрів

$$P_2(t) = e^{-\lambda \cdot t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda \cdot t)^i}{i!} = e^{-\lambda \cdot t} (1 + \lambda \cdot t) = e^{-0,4 \cdot 10^{-4} \cdot 1000} (1 + 0,4 \cdot 10^{-4} \cdot 1000) = 0,99$$

тоді

$$P(t) = 0,99 \cdot 0,99 = 0,98.$$

### Варіанти задач для розв'язання

Вихідні данні	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Інтенсивність відмови катіонітного фільтра $\lambda$ , 1/год	$0,2 \cdot 10^{-4}$	$0,2 \cdot 10^{-4}$	$0,2 \cdot 10^{-4}$	$0,2 \cdot 10^{-4}$	$0,2 \cdot 10^{-4}$
Інтенсивність відмови аніонітного фільтра $\lambda$ , 1/год	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$
Період безвідмовної роботи $t$ , год.	700	900	1100	1300	1500

#### Приклад 4.7

Ймовірність безвідмовної роботи одного елемента протягом часу  $t$  дорівнює  $P(t) = 0,9997$ . Потрібно визначити ймовірність безвідмовної роботи системи, що складається з  $n = 100$  таких же елементів.

#### Розв'язання

Ймовірність безвідмовної роботи системи дорівнює  $P_c(t) = P^n(t) = (0,9997)^{100}$ . Ймовірність  $P_c(t)$  близька до одиниці, тому для її обрахування:

$$q(t) = 1 - P(t) = 1 - 0,9997 = 0,0003$$

$$\text{Тоді } P_c(t) = 1 - nq(t) = 1 - 100 \cdot 0,0003 = 0,97$$

### Варіанти задач для розв'язання

Вихідні данні	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Ймовірність безвідмовної роботи одного елемента	0,96	0,9	0,95	0,99	0,96
Кількість елементів	105	150	120	98	85

#### Приклад 4.8

Система складається з 10 рівнонадійних елементів, середній час безвідмовної роботи елемента  $t = 1000$  годин. Передбачається, що справедливий експоненціальний закон надійності для елементів системи і основна та резервна системи рівнонадійні. Необхідно знайти середній час безвідмовної роботи системи  $t_c$ , а також частоту відмов  $a(t)$  і інтенсивність відмов  $\lambda_c(t)$  в момент часу  $t = 50$  годин, якщо система є нерезервованою:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i,$$

де  $\lambda_c$  – інтенсивність відмови системи;

$\lambda_i$  – інтенсивність відмов  $i$ -го елемента.

$$\lambda_i = \frac{1}{T_i} = \frac{1}{1000} = 0,001$$

$$\lambda_c = \lambda n = 0,001 \cdot 10 = 0,01 \text{ 1/год}$$

$$T_c = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{0,01} = 100 \text{ год}$$

$$a(t) = \lambda_t \cdot P_t;$$

$$P_t = e^{-\lambda_c t}$$

$$a(t) = 0,001 \cdot 2,72^{-0,01 \cdot 50} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ 1/год}$$

### Варіанти задач для розв'язання

Вихідні данні	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Кількість рівнонадійних елементів	20	25	45	8	12
Середній час безвідмовної роботи	900	1200	1500	700	850
Час, год	100	150	125	80	60

### Практичне заняття № 5

#### Показники надійності технічних систем

Показники кількісно характеризують надійність об'єкта. Вид залежностей для обчислення параметрів надійності визначається конфігурацією і умовами експлуатації системи. Варто розрізняти за цією ознакою такі види об'єктів:

*невідновлювальні* – це об'єкти, які в процесі експлуатації не підлягають ремонту; при відмові такого об'єкта робота всієї системи буде порушена (наприклад, відмова греблі викликає відмову системи водопостачання);

*відновлюваними* є об'єкти, які при виконанні своїх функцій допускають ремонт (автомобілі, насоси).

Надійність оцінюється наступними параметрами:

#### 1. Ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ :

$$P(t) = \frac{N_o - n_t}{N_o}, \quad (5.2)$$

де  $N_o$  – кількість однотипних об'єктів на початку періоду випробувань  $t$  (наприклад, число однотипних насосів, машин і т.п.);

$n_t$  – число елементів, що відмовили за час  $t$ .

Індекс  $P(t)$  означає, що це статистична оцінка, а не сам параметр, тому що для одержання значення параметра необхідно, щоб  $N_o \rightarrow \infty$ . Завжди  $P(t) \leq 1$ . Наприклад, якщо через рік після початку робіт з 500 одиниць устаткування відмовило 100, то

$$P(t) = \frac{500 - 100}{500} = 0,8.$$

**2. Ймовірністю відмови  $Q(t)$**  називається ймовірність того, що за певних умов експлуатації протягом заданого інтервалу часу  $T$  виникає хоча б одна відмова. Відмова і безвідмовна робота є несумісними і протилежними подіями. Ймовірність відмови являє собою різницю

$$Q(t) = 1 - P(t). \quad (5.3)$$

Для обчислення ймовірності відмови за даними спостережень використовується формула

$$Q(t) = \frac{n_t}{N_o}. \quad (5.4)$$

Для умов приклада для визначення  $P(t)$  ймовірність відмови:



$$Q(t) = \frac{100}{500} = 0,2.$$

**3. Частота відмов  $a(t)$**  являє собою відношення числа елементів, що відмовили за одиницю часу до початкового числа елементів:

$$a(t) = \frac{n_{\Delta t}}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad (5.5)$$

де  $n_{\Delta t}$  – число елементів, що відмовили, в інтервалі  $\Delta t$  часу;

$\Delta t$  – величина тимчасових інтервалів, на які розбитий період спостереження  $t$ .

Частота відмов має розмірність, зворотну часу (1/рік або 1/міс.).

**4. Інтенсивність відмов  $\lambda(t)$**  називається відношення числа елементів, що відмовили, в одиницю часу до середнього числа елементів, що справно працювали в даний відрізок  $\Delta t$  часу.

$$\lambda(t) = \frac{n_{\Delta t}}{N_{cp} \cdot \Delta t}. \quad (5.6)$$

$$N_{cp} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}, \quad (5.7)$$

де  $N_i$  і  $N_{i+1}$  – число справно-працюючих елементів, на початку і наприкінці відрізка часу  $\Delta t$ .

Інтенсивність відмов також має розмірність, зворотну часу  $t$  (1/рік), тобто шт./рік.

Теоретично ж інтенсивність відмов являє собою умовну ймовірність відмови елементів і інтервалі часу  $(t; t+\Delta t)$  за умови, що до моменту часу  $t$  елементи працювали безвідмовно.

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)} = \frac{f(t)}{P(t)} = -\frac{P'(t)}{P(t)} = -\frac{dP}{dtP(t)} \quad (5.8)$$

**5. Середнім наробітком до першої відмови або середнім часом безвідмовної роботи  $T_{cp}$ :**

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}, \quad (5.9)$$

де  $t_i$  – час безвідмовної роботи  $i$ -го елемента (до першої відмови).

## Приклади розв'язування задач

### Приклад 5.1

Каналізаційна мережа складається з 85 ділянок. Тривалість експлуатації мережі 12 років, вона підпорядковується експоненціальним законом з параметром  $\lambda = 0,25 \cdot 10^{-4}$  1/год. Визначте ймовірність безвідмовної роботи,

частоту відмов і кількість відмов. Вкажіть кілька способів підвищення надійності каналізаційної мережі .

### Розв'язання

$$P(t) = e^{-\lambda t} = 2,73^{-0,25 \cdot 10^{-4} \cdot 12 \cdot 365 \cdot 24} = 0,071$$

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)} \quad a(t) = \lambda(t) \cdot P(t) = 0,25 \cdot 10^{-4} \cdot 0,071 = 1,78 \cdot 10^{-6}$$

$$n(t) = N_0 \cdot Q(t) = 85 \cdot (1 - 0,071) = 79$$

### Варіанти задач для розв'язання

Вихідні данні	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Кількість ділянок	50	70	35	120	89
Тривалість експлуатації	10	20	15	19	25
Інтенсивність відмов	$0,25 \cdot 10^{-4}$				

### Приклад 5.2

У зонній системі водопостачання будівлі встановлені дві різнотипних насоса. Інтенсивність відмови першого насоса –  $1,2 \cdot 10^{-4}$  1 / год , другий  $-2 \cdot 10^{-4}$  1 / год. Визначте середній час і ймовірність безвідмовної роботи системи протягом 300 годин.

### Розв'язання

Умовно вважаємо, що система складається з двох невідновлювальних елементів, робота до відмови яких підпорядковується експоненціальному закону, тоді ймовірність безвідмовної роботи системи:

$$P(t) = e^{-\lambda t} = 2,73^{-(1,2 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-4}) \cdot 300} = 0,91$$

Середній час безвідмовної роботи системи:

$$T_c = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{1,2 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-4}} = 3125 \text{ год}$$

$$n(t) = N_0 \cdot Q(t) = 100 \cdot (1 - 0,99) = 0,18$$

### Варіанти задач для розв'язання

Вихідні данні	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Інтенсивність відмови 1 насосу	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Інтенсивність відмови 2 насосу	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$
Час роботи	350	120	240	820	760

### Приклад 5.3

Трубопровід діаметром 400 мм і 600 мм для передачі води з фільтрувальної станції населенню, прокладений в різні райони міста на глибині 1,7 і 2,1 м, відповідно протяжність даного водоводу 50 км , кожен складається з 15 ділянок. У першому випадку (400 мм) на 3 -х ділянках було зафіксовано відмову , у другому випадку на 1 ділянці. Визначити ймовірність безвідмовної

роботи і частоту відмови водоводу з діаметром 400 мм і 600 мм, за умови, що час до відмови в першому випадку перевищує в 10 разів час необхідний для ліквідації аварій, а в другому випадку в 7 разів.

Діаметр трубопроводу, мм	Час, необхідний для ліквідації аварій на трубопроводі (год.), при глибині залягання, м	
	до 2-х м	>2м
<400	8	12
400-1200	12	18
>1200	18	24

### **Розв'язання**

$$P(120) = \frac{N_o - n_t}{N_o} = \frac{15 - 3}{15} = 0,8$$

$$P(90) = \frac{N_o - n_t}{N_o} = \frac{15 - 1}{15} = 0,93$$

$$a(120) = \frac{n_{e,\Delta t}}{N_{om} \cdot \Delta t} = \frac{3}{15 \cdot 120} = 1,6 \cdot 10^{-3}$$

$$a(90) = \frac{n_{e,\Delta t}}{N_{om} \cdot \Delta t} = \frac{1}{15 \cdot 90} = 7,4 \cdot 10^{-4}$$

### **Варіанти задач для розв'язання**

Вихідні данні	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Для першого випадку					
Діаметр трубопроводу	500	600	700	1250	1300
Глибина залягання	1,9	2,0	1,8	2,2	2,5
Кількість відмов	2	3	1	5	4
Час до відмови, (кількість разів)	5	7	9	10	2
Для другого випадку					
Діаметр трубопроводу	400	600	1000	1400	1500
Глибина залягання	1,4	1,6	1,9	2,2	2,6
Кількість відмов	3	2	5	7	1
Час до відмови, (кількість разів)	5	6	2	3	4

### **Приклад 5.4**

При спостереженні за роботою 4-х фільтрувальних установок котеджного типу для очистки підземних вод було зареєстровано по 1-шій установці 7 відмов, при цьому до початку випробування установка пропрацювала 20 годин, загальне напрацювання складає 70 годин, по 2-й - 5 відмов, і до випробування установка не працювала, напрацювання 80 годин, по 3-й – 2 відмови, причому до початку випробування установка пропрацювала 10 годин, а загальне напрацювання 70 годин, и по 4-й - 6 відмов и до випробування установка пропрацювала 1 годину, а загальне напрацювання 46 годин.

Визначте середнє напрацювання на відмову для фільтрувальних установок.

### Розв'язання

Тривалість випробувань для 1 установки  $t = t_1 - t_2 = 70 - 20 = 50$  годин

Тривалість випробувань для 2 установки  $t = 80$  годин

Тривалість випробувань для 3 установки  $t = t_1 - t_2 = 70 - 10 = 60$  годин

Тривалість випробувань для 4 установки  $t = t_1 - t_2 = 46 - 1 = 45$  годин.

$$\sum t = 50 + 80 + 60 + 45 = 235 \text{ годин}$$

$$\sum n = 7 + 5 + 2 + 6 = 20 \text{ відмов}$$

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{235}{20} = 12 \text{ годин}$$

### Варіанти задач для розв'язання

Вихідні данні	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Кількість відмов по 1-й установці	6	5	2	3	8
Кількість відмов по 2-й установці	5	4	3	8	7
Кількість відмов по 3-й установці	1	5	2	3	7
Кількість відмов по 4-й установці	10	9	11	6	5
Кількість годин до початку роботи/загальне напрацювання по 1 й установці	30/80	5/15	0/60	5/100	10/35
Кількість годин до початку роботи/загальне напрацювання по 2 й установці	5/20	1/95	25/60	5/60	30/250
Кількість годин до початку роботи/загальне напрацювання по 3 й установці	10/100	0/100	20/220	25/80	10/90
Кількість годин до початку роботи/загальне напрацювання по 4 й установці	20/120	25/300	1/96	0/50	5/95

### Приклад 5.5

Зміна пропускної здатності фільтра підпорядковується експоненціальному закону з параметром  $\lambda = 1,25 \cdot 10^{-4}$  1/год. Визначити ймовірність безвідмовної роботи системи, частоту відмов і середній наробіток до першої відмови за 120 годин. Під час роботи фільтр не регенерувався.

#### Розв'язання.

Ймовірність безвідмовної роботи фільтра

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-1,25 \cdot 10^{-4} \cdot 120} = 0,98.$$

Частота відмови

$$a(t) = \lambda(t) \cdot P(t) = 1,25 \cdot 10^{-4} \cdot 0,98 = 1,23 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.}$$

Напрацювання до першої відмови

$$T = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,25 \cdot 10^{-4}} = 8000 \text{ год.}$$

### Варіанти задач для розв'язання

Вихідні данні	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Інтенсивність відмов, $\lambda$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,45 \cdot 10^{-4}$	$1,65 \cdot 10^{-4}$	$1,15 \cdot 10^{-4}$
Час роботи	120	150	320	60	80

### Приклад 5.6

Для досліджень на трубопровід встановили 100 однакових розприскувачів. Конструкція розприскувачів дозволяє проводити їх очищення, тому ті, що вийшли з ладу після очищення поверталися в роботу. У процесі випробувань встановлено, що в перші 100 годин з ладу вийшло 10, за період 100-200 годин - 12, за період 200-300 годин - 9 розприскувачів. Визначити ймовірність безвідмовної роботи за інтервали: 0-100, 100-200 і 200-300 годин.

### Розв'язання

Розприскувачі після ремонту повертаються в роботу, тому можна визначити систему, як відновлювану.

Імовірність безвідмовної роботи системи

$$P_1(t) = 1 - \frac{n_1(t)}{N_0} = 1 - \frac{10}{100} = 0,9;$$

$$P_2(t) = 1 - \frac{n_2(t)}{N_0} = 1 - \frac{12}{100} = 0,88;$$

$$P_3(t) = 1 - \frac{n_3(t)}{N_0} = 1 - \frac{9}{100} = 0,91.$$

### Варіанти задач для розв'язання

Вихідні данні	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Кількість елементів	105	150	120	98	85
Кількість відмов 0-100 годин	12	10	8	6	9
Кількість відмов 100-200 годин	10	6	5	11	12
Кількість відмов 200-300 годин	5	8	12	13	8

**Практичне заняття № 6**

*Сучасні методи визначання технічного стану мереж водопостачання*

***Загальні відомості***

Водопровідна система України доволі складний інженерний комплекс. Значна частина споруд цього комплексу відпрацювала нормативний термін і потребує оновлення.

Найбільшою проблемою системи водопостачання України є її спрацьованість, яка становить 30 %. Незадовільний технічний стан системи водопостачання загалом та водопровідної мережі зокрема негативно позначаються на якості очищеної води і є причиною вторинного її забруднення.

*Втрати води у розподільчій мережі* коливаються в межах 30-50 % або і більше від загального обсягу поданої у мережу води. Найбільшими вони є у м. Севастополі (45,3 %), Закарпатській (39,6 %), Чернівецькій (37,8 %), Івано-Франківській (37,2 %) та Миколаївській (36,9 %), найменшими – у Херсонській (9,4 %), Київській (11,5 %) і Рівненській (17,9 %) областях та в м. Києві (15,3 %).

*Проблеми вторинного забруднення води у водопровідній мережі*, як в Україні, так і в країнах центральної та східної Європи, набувають все більшої гостроти. Зі зміною економічної системи господарювання надто помітним постало зниження норм водоспоживання, а відтак зменшилась продуктивність очисних споруд, насосних станцій, системи розподілу води.

*При проектуванні водопровідної мережі* важливого значення набуває питання раціонального добру матеріалів труб. Адже якість води може мати суттєвий вплив на довговічність та ефективність експлуатації мережі, якість води в самій мережі. Труби водопровідної мережі України виготовлені зі сталі, чавуну, залізобетону, полімерів та азбестоцементу. На більшості трубопроводів відсутнє зовнішнє протикорозійне покриття, і практично на всіх – внутрішнє покриття. Якість матеріалу труб та будівельно-монтажних робіт була завжди незадовільними, що також здійснює значний вплив на сучасний стан та якість води систем водопостачання.

***Дефектоскопія***

*Способи обстеження та дефектоскопії водогінних мереж*

Для вивчення стану, режиму роботи водогінних мереж, визначення місць ушкоджень і дефектів на них, проводяться різні види обстежень і вимірів на водогінній мережі:

- телевізійний контроль внутрішнього стану трубопроводів; манометрична зйомка на водогінній мережі;
- визначення пошкоджень водогінної мережі акустичним, електронно-акустичним та акустично-кореляційним способами;
- способи визначення дефектів сталевих трубопроводів магнітним полем або ультразвуковим скануванням.

### Завдання на практичне заняття №6

На рисунках 6.1 наведено типи зварних з'єднань та ті недоліки, які можуть виникнути при проведенні зварювальних робіт. Проведіть наочний аналіз виявлених дефектів (табл. 6.1), та назвіть ті дефекти, які призводять до зниження надійності роботи об'єктів.

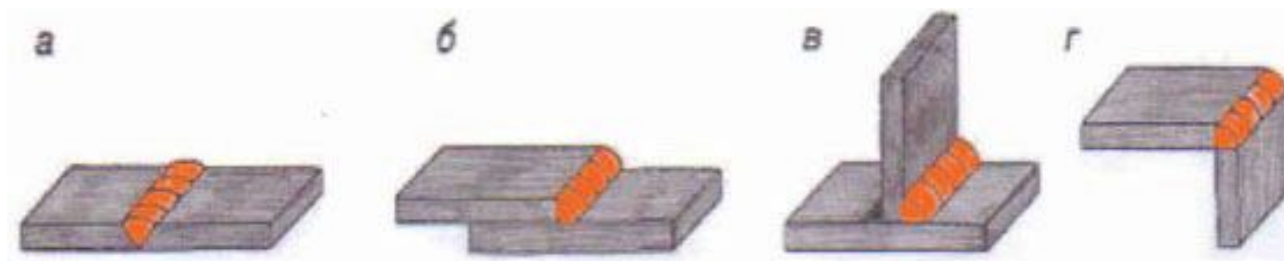
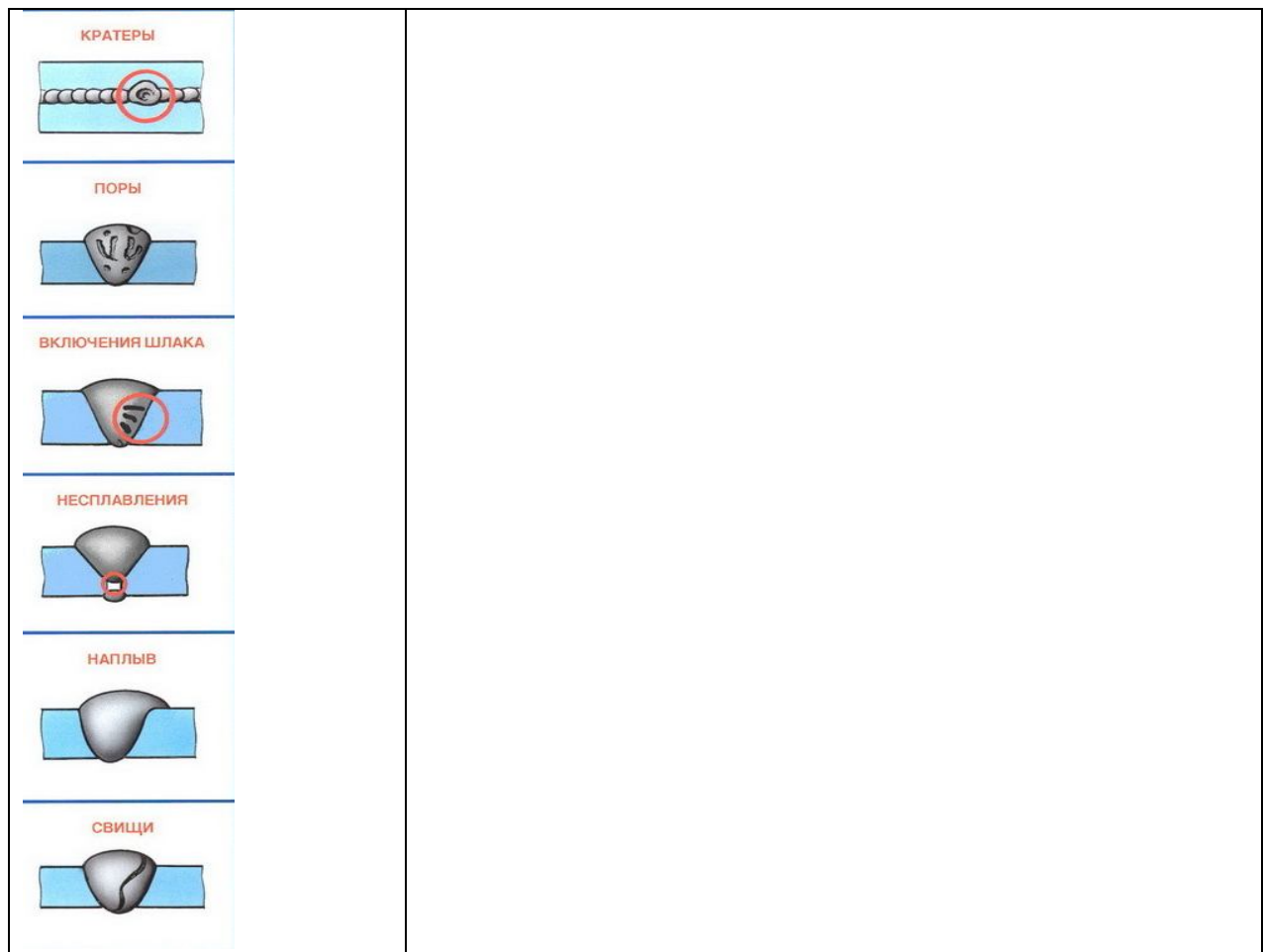


Рисунок 6.1 – Типи зварних з'єднань

Таблица 6.1 – Дефектна відомість

Вид дефекту	Аналіз утворення, та методи запобігання
<p>ПОДРЕЗЫ</p>	
<p>НЕПРОВАР</p>	
<p>ПРОЖОГ</p>	
<p>НЕРАВНОМЕРНАЯ ФОРМА ШВА</p>	
<p>ТРЕЩИНЫ</p>	
<p>ПЕРЕГРЕВ (ПЕРЕЖОГ) МЕТАЛЛА</p>	



## **Практичне заняття № 7**

*Забезпечення безпеки та надійності систем водопостачання в період проектування та будівництва*

### ***Загальні відомості***

При проектуванні систем питного водопостачання повинні виконуватися вимоги законодавства з санітарно-епідеміологічного благополуччя населення, а також необхідно дотримуватися норми земельного, лісового, водного законодавства, законодавства про надра, про тваринний світ, про охорону навколишнього середовища, про особливо охоронювані природні території, про лікувально-оздоровчі місцевості і курорти, про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру.

Для забезпечення населення питною водою на випадок виникнення надзвичайних ситуацій проектуються системи резервного водопостачання по нормах надзвичайних ситуацій.

### ***Вимоги до будівництв***

Слід зазначити, що на даний момент проектування нових систем і схем водопостачання населених пунктів здійснюється на основі ДБН В.2.5-74:2013 «водопостачання зовнішні мережі та споруди»

Ці будівельні норми встановлюють основні вимоги до проектування нових систем і схем водопостачання населених пунктів, реконструкції та



технічного переоснащення існуючих споруд, мереж і окремих елементів зовнішнього водопостачання населених пунктів, груп підприємств, окремих підприємств, будинків, інших об'єктів.

Ці будівельні норми поширюються на проектування централізованих і нецентралізованих зовнішніх систем, мереж та споруд водопостачання населених пунктів, а також виробничих підприємств, для яких не встановлені особливі вимоги з проектування.

#### ***Завдання на виконання практичного заняття № 7***

1. Назвіть основні фактори, що впливають на зниження надійності роботи ВК систем, та віднесіть їх до відповідної категорії. Отримані данні занесіть до таблиці 7.1.

2. Проаналізуйте основні групи факторів, що впливають на надійність роботи водозабірних споруд, та віднесіть їх до певної групи факторів (табл. 7.2).

Таблиця 7.1 – Аналіз факторів впливу на надійність ВК систем

<b>Зовнішні фактори (випадкові)</b>	<b>Внутрішні фактори (ті, що можна спрогнозувати)</b>

Таблиця 7.2 – Аналіз факторів впливу на надійність ВК систем

<b>Фактори</b>	<b>Аналіз фактору</b>
Фактор часу	
Метеорологічний фактор	
Біохімічний фактор	
Механічний фактор	
Гідрологічний і гідрогеологічний	

### **Практичне заняття № 8**

*Сучасні методи будівництва та реконструкції водопровідних мереж та споруд.*

#### ***Загальні відомості***

*Вибір матеріалу труб для проектування водопровідних мереж.*

У цей час для виробництва труб використовуються різноманітні матеріали: метали, пластмаси, кераміка, азбестоцемент, бетон і композиції з декількох матеріалів. Кожен матеріал трубопроводів має свої переваги та недоліки. Щоб зорієнтуватися в цьому різноманітті та обрати потрібний тип труби, необхідно знати призначення трубопроводу, параметри його роботи та необхідну довговічність.

Для зовнішніх водопровідних мереж застосовують: чавунні, сталеві та неметалеві (залізобетонні, азбестоцементні та поліетиленові - з вініпласту, поліетилену та інших пластичних матеріалів) труби.

У світі, у тому числі в Україні, у системах водопостачання найбільшого застосування набули труби з високоміцного чавуну та полімерних матеріали, такі як поліетилен і полівінілхлорид.

Полімерні труби мають суворі обмеження по робочому тиску, що прямо залежить від середньої температури всього терміну експлуатації та максимального діаметра труби. Із цими обмеженнями треба рахуватися. Розрахунок експлуатаційних характеристик здійснюється відповідно до вимог стандарту ISO 13760 «Пластмасові напірні труби для транспортування рідин».

*Основними способами ремонту та санації труб є:*

Відкритий спосіб ремонту, який дозволяє:

- -без особливих проблем збільшувати поперечні перерізи трубопроводу;
- -проводити ремонтно-відбудовчі роботи незалежно від поперечного переріза відновлюваної ділянки, розмірів траси;
- -здійснювати роботи незалежно від геологічних і гідрогеологічних умов і глибини залягання трубопроводу;
- вибирати найбільш зручну трасу.

Відкритий спосіб прокладання труб виконується в 5 етапів:

- розкопування траншеї потрібної глибини
- підготовка підвалин трубопроводу;
- укладання нової труби,
- зворотне засипання;
- відновлення ґрунту та зелених насаджень, благоустрій об'єкта.

Разом з тим відкритий спосіб має ряд недоліків:

- створюються незручності для мешканців даного району, і в першу чергу для пішоходів;
- необхідність вживати заходів до зниження рівня ґрунтових вод, і особливо дощових вод;
- при веденні робіт доводиться враховувати паралельні і пересічні комунікації міського господарства;
- необхідно вирішувати проблеми, пов'язані з водовідливом і зміцненням стінок розроблювальних траншей.

При ремонті та відновленні трубопроводів відкритим способом застосовуються норми та правила для нового будівництва:

- розробляють систему об'їздів і заходи безпеки для пішоходів;
- локально знижують рівень ґрунтових вод і вод, які накопичилися після аварії;
- вживають заходів, щоб запобігти пошкодженню паралельних і пересічних трубопроводів різного призначення, у тому числі водопроводу, газопроводу, тепломереж і ін.

**Безтраншейна санація** - ремонт відбувається шляхом протягання полімерного рукава в пошкоджену або зруйновану трубу.

Спосіб придатний для напірних, і безнапірних трубопроводів.

Зниження діаметра труби в результаті санації компенсується гладкою внутрішньою поверхнею полімерних труб з коефіцієнтом шорсткості 0,01 мм (завдяки зменшенню тертя рідини об стінки пропускна здатність трубопроводу практично не міняється).

У цей час існує п'ять основних способів безтраншейного ремонту трубопроводів:

«труба в трубі» - протаскування усередину трубопроводу, що ремонтується нового рукава труб з поліетилену. При цьому зовнішній діаметр поліетиленового рукава близький до внутрішнього діаметра ділянки, що ремонтується але завжди менше діаметра останнього;

«виламування» - віброударне або гідравлічне руйнування ділянки, що ремонтується з метою протаскування нового поліетиленового трубопроводу або відрізків труб, при цьому діаметр трубопроводу після ремонту стає на один типорозмір більше вихідного діаметра трубопроводу;

«панчоха» - протаскування усередину ділянки, що ремонтується трубопроводу - панчохи зі спеціальних матеріалів, при цьому після спеціальної обробки «панчоха» щільно прилягає до внутрішньої поверхні труби, що ремонтується;


«U-лайнер» - протаскування усередину трубопроводу, що підлягає ремонту U-образної труби з поліетилену з наступним її розпрямленням по внутрішній поверхні ділянки за допомогою теплоносія певної температури;

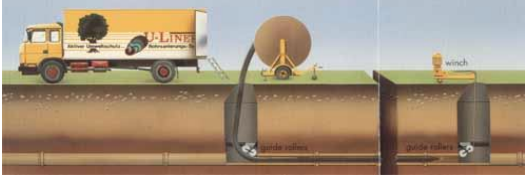


локальний ремонт - закладення стикових з'єднань, місць підключення бічних відводів і невеликих тріщин за допомогою робототехнічних пристроїв.

### ***Завдання на практичну роботу №8***

Проаналізуйте наведені способи санації трубопроводів, назвіть основні переваги та недоліки. Для наведених варіантів порекомендуйте та обґрунтуйте способи прокладання та санації трубопроводів.

Таблиця 8.1 – Способи санації та прокладання трубопроводів

Спосіб прокладання чи санації	Аналіз методу
	
	

#### *Варіант №1*

- Глибина залягання трубопроводу 2 м, має сильні локальні ушкодження у вигляді тріщин та свищів, корозійні пошкодження;

#### *Варіант №2*

- Глибина залягання трубопроводу 5.5 м, ділянка має повороти, довжина ділянки 300 м.

#### *Варіант №3*

- Каналізаційний трубопровід, діаметром 300 мм, прямолінійна ділянка.

#### *Варіант №4*

- Прокладання трубопроводу під автострадою з великим потоком машин, діаметр трубопроводу 300 мм, глибина залягання 4,5 м.

#### *Варіант № 5*

Прокладання газопроводу на території щільної міської забудови.

### **Практичне заняття № 9**

#### *Технічне обслуговування систем водопостачання*

#### **Загальні відомості**

Завдання технічного обслуговування полягає в підтримці шляхом проведення ремонтів постійної працездатності об'єктів водопостачання і водовідведення та своєчасної реновації тих з них, які виробили призначений ресурс і досягли граничного стану.

З метою виявлення несправностей, ступеня зношування і інших дефектів проводиться постійне спостереження за технічним станом об'єктів. Контроль має кілька рівнів: зовнішній огляд доступних для цього елементів, періодичний огляд (звичайно, сполучений з поточним ремонтом), випробування устаткування під навантаженням, проведення спеціальних досліджень.

Постійні огляди спрямовані на оперативне виявлення пошкоджень і дозволяють вжити невідкладних заходів, що попереджають більшість ушкоджень.

Періодичні огляди проводяться технічним керівником разом з обслуговуючим персоналом. Огляд включає перевірку стану елементів об'єкта та супроводжується деякими профілактичними роботами, наприклад, із промиванням трубопроводів і устаткування, з набиванням сальників і т.д. Окремі дефекти, виявлені при огляді, відразу ж усуваються.

Залежно від конструкції, відповідальності та доступності для обстеження, частота оглядів об'єкта коливається від 12 місяців до щодобового контролю технічного стану. Огляд носить різний характер від візуального при обході трас водопровідної і каналізаційної мережі, до обстежень, що вимагають відключення споруд.

### **Система планово-попереджувального ремонту (ППР)**

Система ППР - сукупність організаційних і технічних заходів щодо нагляду та всіх видів планових ремонтів.

Завдання полягає в попередженні передчасного зношування об'єктів і створення умов для високої якості експлуатації

#### **Класифікація ремонтних робіт**

Ціль планово-попереджувальних ремонтів полягає в підтримці або відновленні експлуатаційних властивостей об'єктів або їхніх окремих елементів. Під експлуатаційними властивостями варто розуміти ті, як впливають на якість експлуатації: надійність, екологічність, економічність і безпека життєдіяльності персоналу.

Розрізняють *поточні та капітальні ремонти*.

Поточний ремонт носить попереджувальний характер і призначений охороняти об'єкт і його елементи від передчасного зношування шляхом профілактичного обслуговування та усунення дрібних дефектів. Плановий поточний ремонт проводиться регулярно протягом року і у позачерговому порядку згідно графіка, за результатами поточних оглядів, діагностики технічного стану, що виявилися в ході експлуатації.

#### **Завдання на практичну роботу №9**

Використовуючи отримані знання на лекційних заняттях, з додаткових літературних джерел та практичні навички з відповідних навчальних практик заповніть таблицю згідно наведеної форми.

Таблиця 9.1 – Періодичність оглядів і ремонтів споруд та устаткування

Найменування об'єкта	Тривалість періоду між, мес.		
	огляд	поточний ремонт	капітальний ремонт
1. Водопровідні і каналізаційні трубопроводи			
2. Дюкери			
3. Колодязі та камери на мережах			
4. Мережні засувки			
5. Водопровідні вводи в будинки			
6. Резервуари			
7. Водонапірні башти			
8. Берегові колодязі річкових водозаборів			
9. Оголовки річкових водозаборів			
10. Водяні свердловини			
11. Горизонтальні водозабори			
12. Насоси горизонтальні водопровідні та повітродувки			
13. Теж заглибні, вакуум-насоси, каналізаційні насоси			
14. Контрольно-вимірювальне устаткування			
15. Устаткування для готування і дозування реагентів, змішувачі			
16. Водопровідні відстійники			
17. Фільтри освітлювальні			
18. Хлораторні установки та бактерицидні установки			

### ЗМ 3 Підвищення ступеня безпеки та надійності систем водовідведення

#### Практичне заняття № 10

*Методи підвищення надійності систем.*

#### **Загальні відомості**

*Вимоги до якості будівельно-монтажних робіт*

Якість будівельно-монтажних робіт істотно впливає на умови наступної експлуатації об'єктів, особливо з показників надійності та економічності.

В процесі будівництва та монтажу можуть виникнути такі порушення, які здаються несуттєвими, але насправді значно погіршують умови експлуатації.

*Порядок проведення якісного будівництва каналізаційних мереж.*

Для надійної експлуатації каналізаційних мереж надзвичайно важливе створення стійких підвалин для труб і каналів. Осідання підвалин не тільки може викликати пошкодження труб і їхніх стиків, але і порушити проектні ухили, у результаті чого буде відбуватися засмічення мереж.

На економічність і екологічність експлуатації каналізації істотно впливає водонепроникність мережі. При її недостатності спостерігається інфільтрація ґрунтових вод з усіма негативними наслідками цієї ситуації.

*Вимоги до якості будівництва та монтажу насосних станцій.*

Насосні агрегати, вантажопідйомне устаткування і арматура оглядаються перед монтажем, проводиться випробування насосів, у необхідних випадках виконуються ремонти або відбраковування.

Усмоктувальні лінії насосів, особливо встановлених не під затокою, прокладаються з підйомом не менш 0,005 убік руху води, ці умови необхідні для виключення повітряного засмічення труб. Природно, що контруклони на усмоктувальних лініях неприпустимі. Щоб уникнути підсмоктування повітря забір води усмоктувальними лініями проходить із глибини не менше 0,5-1,0 м.

*Вимоги до якості будівництва очисних споруд водовідведення*

Як відомо, у міських очисних спорудах водопроводу і каналізації передбачається самопливна схема руху. Тому одна з головних вимог до якості будівництва полягає в точному дотриманні висотної схеми, тобто повній відповідності натурних оцінок окремих споруд або конструкцій робочим кресленням проекту. При неправильному виконанні висотної схеми змінюється продуктивність або взагалі стає неможливим робота очисних споруд.

*Пуско-налагодочні роботи на об'єктах водовідведення*

Нові або реконструйовані об'єкти, що вводяться в експлуатацію, водопроводу та каналізації повинні бути пристосовані до сформованих умов роботи, без чого неможливе досягнення високої якості експлуатації.

Пуско-налагоджувальні роботи проводяться після завершення будівельно-монтажних робіт, прийнятих комісією в тимчасову експлуатацію та включають два етапи: підготовчий і основний.

*Проведення оцінки якості експлуатації при плануванні робіт по вдосконаленню технічної експлуатації*

Комплексна оцінка якості експлуатації, проводиться постійно та на всіх рівнях (від майстерної ділянки до всієї системи в цілому), узагальнення і аналіз результатів такої оцінки дозволяє адресно виявити недоліки в експлуатаційному процесі.

Рішення, прийняті на основі оцінки якості експлуатації, можуть бути чисто організаційними, або вимагають витрат на капітальні ремонти, реконструкцію і реновацію.

### ***Завдання на практичну роботу №10***

Використовуючи отриманні знання, згідно свого варіанту, який видає викладач навести основні причини зниження надійності роботи об'єктів водопровідно-каналізаційного господарства та назвати методи підвищення надійності об'єктів та можливі джерела фінансування.

Варіант №1– каналізаційні мережі;

Варіант №2– насосні станції;

Варіант №3– очисні споруди водовідведення;

Варіант №4–арматура на мережах;

Варіант №5–водозабірні споруди;

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

### **ЗМ 1 Основні визначення і проблеми надійності ВК систем**

#### ***Лабораторна робота № 1***

#### **Визначення показників дефектності прокладання трубопроводів**

##### ***Мета роботи:***

Визначення відсотка трудовитрат  $\Pi_T$ , які витрачаються на усунення дефектів трубопроводів, що прокладаються, і зіставлення його із припустимим показником дефектності трубопровідних робіт. Виявлення основних факторів, що впливають на величину показника  $\Pi_T$ .

##### ***Загальні відомості***

Узагальненим показником якості трубопровідних робіт може слугувати коефіцієнт дефектності ( $K_d$ ) прокладки трубопроводів, що являє собою відсоток відхилення від нормативних вимог при прокладці зовнішніх інженерних комунікацій. Тому теоретично він може вимірятися або у відсотках (від 0 до 100%) або частках одиниці відносної розмірності ( $0 \leq K_d \leq 1$ ). Як правило, величина  $K_d$  прокладки інженерних комунікацій при забудові житлових мікрорайонів змінюється від 4 % до 55%. Існує пряма залежність коефіцієнта  $K_d$  від інтенсивності проведення робіт із прокладки трубопроводів зовнішніх інженерних мереж. Від його величини залежать розміри вартісних витрат на усунення виявлених дефектів, а також величини відповідних трудовитрат.

Величина  $\Pi_T$  залежить від виду трубопроводу (каналізація або водопровід), умов прокладки трубопроводу (гідрогеологічні умови, сезону), типу матеріалу і якості труб, а також рівня професіоналізму й технологічної дисципліни будівельно-монтажних бригад, ступінь технічної оснащеності.

У таблиці 1.1 представлені значення середніх відсотків трудовитрат ( $\Pi_{Tc}$ ), що витрачаються на усунення дефектів при прокладці різних типів трубопроводів, отриманих на основі експертної оцінки. Значення ( $\Pi_{Tc}$ ) визначалися для трубопроводів, що прокладаються в літню пору в сухих ґрунтах на глибині до 2-х метрів.



Таблиця 1.1 – Середні відсотки трудовитрат на усунення дефектів трубопроводів

Матеріал труб і вид трубопроводів		Значення $\Pi_{тс}$ (%) по діаметрах (мм) трубопроводів,										
		100	200	300	400	500	600	700	800	1000	1200	1500
Чавунні	В	5,9	6,0	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	-	-
	К	5,7	5,8	5,9	6,0	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,5
Азбестоцементні	В	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5		-	-	-	-
	К	5,8	5,9	6,0	6,1	6,2	6,3	-	-	-	-	-
Залізобетонні	В	-	-	6,3	6,4	6,5	6,6	-	6,7	6,8	6,9	6,9
	К	-	-	6,1	6,2	6,3	6,4	-	6,5	6,6	6,7	6,7
Керамічні	К	-	6,2	6,3	6,4	6,5	6,5	-	-	-	-	-

Таблиця 1.2 – Коефіцієнти збільшення трудовитрат на усунення дефектів трубопроводів.

Фактори, що впливають на якість (дефектність трубопровідних робіт)	Коефіцієнти збільшення трудовитрат на усунення дефектів трубопроводів	
	позначення	величини
1. Глибина закладення трубопроводу:		
до 2м	$K_{г1}$	1,0
до 4м	$K_{г2}$	1,1
до 6м	$K_{г3}$	1,2
2. Зволожені (вологонасичені ґрунти) по трасі трубопроводу.	$K_{в}$	1,1
3. Необхідність кріплення стінок траншей	$K_{к}$	1,05
4. Прокладка трубопроводів у зимовий час	$K_{з}$	1,1
5. Некомплектність бригади	$K_{н}$	1,1
6. Кваліфікаційні розряди нижче ніж за ЕниР.	$K_{р}$	1,1
7. Некомплектність оснащення бригади технологічним оснащенням і інструментом.	До	1,05
8. Технологічно необґрунтоване скорочення строків виконання трубопровідних робіт.	$K_{п}$	1,1

Наведений у даній таблиці коефіцієнт  $K_{п}$  визначає вплив на дефектність трубопровідних робіт фактора технологічно не обґрунтованого збільшення інтенсивності їхнього виконання. Цей коефіцієнт необхідно використовувати, якщо передбачається (або закладається в календарних графіках) скорочення термінів виконання трубопровідних робіт більш ніж на 10 %, у порівнянні з термінами, передбаченими в технологічних картах. Величина  $\Pi_{т}$  повинна становити від 5,75% до 13,02%.

Слід відзначити, що близько 20% всіх дефектів трубопроводів припадає на заводські дефекти, 80% на будівельні.

Заводські дефекти проявляються на трубах (не виявлені контролером свищі, тріщини). Будівельні дефекти є переважно дефектами стикових з'єднань. З урахуванням цього можна визначити трудовитрати на усунення дефектів на трубах і в стиках трубопроводу, що проектується (розраховуючи на 1 км його довжини). Для цього знадобляться експериментальні дані, зведені в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Трудовитрати (Т) на прокладку 1 км трубопроводів у сухих ґрунтах

Діаметри трубопроводів, $D_y$ , мм	Типи трубопроводів							
	чавунні				залізобетонні			
	напірні		безнапірні		напірні		безнапірні	
	Т, люд.дн	$T_{ст}/T$	Т, люд.дн	$T_{ст}/T$	Т, люд.дн	$T_{ст}/T$	Т, люд.дн	$T_{ст}/T$
100	322	0,80	-	-	-	-	-	-
200	468	0,63	587	0,65	-	-	-	-
30	604	0,54	634	0,61	-	-	670	0,58
400	610	0,49	668	0,54	-	-	685	0,53
500	807	0,44	814	0,49	1265	0,45	948	0,47
600	908	0,40	1018	0,45	1378	0,41	1174	0,43
700	1007	0,37	1208	0,41	1466	0,37	1308	0,39
800	1143	0,36	1259	0,39	1620	0,35	1375	0,37
1000	1380	0,35	1558	0,37	1848	0,33	1630	0,35
1200	1720	0,33	-	-	2070	0,31	1754	0,33
1500	-	-	-	-	2480	0,30	2119	0,31

### **Забезпечення лабораторної роботи:**

#### **1. Експериментальні дані:**

- Середні відсотки трудовитрат, що витрачаються на усунення дефектів трубопроводів (від загальної кількості трудовитрат на прокладку трубопроводів);
- Коефіцієнти збільшення трудовитрат на усунення дефектів трубопроводів;

Трудовитрати Т на прокладку 1 км трубопроводів у сухих ґрунтах.

### **Порядок проведення лабораторної роботи**

Для виконання даної роботи група студентів ділиться на 7 підгруп, кожна з яких отримує своє, відмінне від іншої підгрупи завдання.

За допомогою даних таблиць 1.1, 1.2, 1.3 студентам необхідно визначити значення розрахункової величини  $\Pi_T$  для наступних варіантів.

I варіант - чавунних каналізаційних труб  $d = 600, 800$  мм; при наявності всіх факторів, що впливають на дефектність проведених робіт.

II варіант – азбестоцементних водопровідних труб  $d = 500, 600$  мм; при наявності 1,3,8 факторів, що впливають на дефектність проведених робіт.

III варіант – залізобетонних каналізаційних труб  $d = 1200, 1000$  мм; при наявності 1,8 факторів, що впливають на дефектність проведених робіт.

IV варіант – керамічних каналізаційних труб  $d = 200, 500$  мм; при наявності всіх факторів, що впливають на дефектність проведених робіт.

V варіант - чавунних водопровідних труб  $d = 100, 300$  мм; при наявності 6,8 факторів, що впливають на дефектність проведених робіт.

VI варіант - азбестоцементних каналізаційних труб  $d = 700, 500$  мм; при наявності 3,8 факторів, що впливають на дефектність проведених робіт.

VII варіант - залізобетонних водопровідних труб  $d = 900, 500$  мм; при наявності всіх факторів, що впливають на дефектність проведених робіт.

Для всіх варіантів глибина закладення труби до 2-х метрів.

Також необхідно врахувати, що планується скорочення строків виконання трубопроводних робіт на 11%.

При визначенні величини  $\Pi_T$  використовують наступну формулу:

$$\Pi_T = \Pi_{TC} \cdot K_G \cdot K_B \cdot K_K \cdot K_3 \cdot K_H \cdot K_P \cdot K_O \cdot K_n \quad (1.1)$$

де  $\Pi_{TC}$  – середній відсоток трудовитрат на усунення дефектів трубопроводу;

$K_{Г,В,К,.....}$  - коефіцієнти збільшення трудовитрат на усунення дефектів трубопроводів (наведені в таблиці 1.2 ).

Отримані в такий спосіб величини повинні перебувати в межах від 5,7% до 13,02%, не залежно від діаметра й матеріалу трубопроводу, а також наявності або відсутності факторів, що впливають на якість трубопроводних робіт.

Виходячи з отриманих даних необхідно визначити трудовитрати на усунення дефектів на 1 км труб (певного трубопроводу, для кожної підгрупи індивідуально). Отже для одержання трудовитрат:

$$T_d = T \cdot \Pi_T \quad (1.2)$$

де  $T_d$  - трудовитрати на усунення дефектів на 1 км трубопроводу, люд. днів,

$T$  - трудовитрати на прокладку 1 км трубопроводу, люд. днів.

Також необхідно визначити скільки необхідно люд. днів на один стик, за умови, що це визначається шляхом поділу  $T_d$  на діаметр трубопроводу.

Всі отримані дані занести в таблицю:

Діаметр, мм	$\Pi_T$	$T_d$	Кількість чол. днів

## *Лабораторна робота № 2*

### **Спостереження за об'єктами водопостачання для визначення їх працездатності**

#### ***Мета роботи:***

Проведення спостережень за роботою завантаження побутового фільтра (надійності й безперебійності роботи) протягом установленого проміжку часу (як правило, гарантійного терміну) для виявлення ймовірності безвідмовної роботи елемента, за допомогою аналізу гістограми інтегрального й диференціального розподілу.

### Загальні відомості

Результати спостережень за об'єктами техніки представляють собою *випадкові величини*, оскільки залежать від випадкової комбінації різних факторів.

Випадкові величини можуть бути безперервними або дискретними. Випадкова величина позначається (X). Якщо проводити нескінченну кількість вимірів випадкової величини X, то безліч їхніх результатів представляє собою *генеральну сукупність*. На практиці ж кількість вимірів має кінцеве значення (n). Набір вимірюваних значень ( $x_1; x_2; x_3; x_n$ ) називається **вибіркою обсягу (n)** з генеральної сукупності або просто вибіркою. Якщо для опису безлічі результатів вимірів використовується ряд загальних характеристик, що обчислюються на підставі генеральної сукупності, вони називаються параметрами, якщо на підставі даних виборки, то статистиками.

Однієї з таких статистик є середнє або середньоарифметичне значення вимірів – ( $\bar{x}$ ), якщо випадкова величина позначена через x і називається математичним очікуванням.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (2.1)$$

Також до числа характеристик відносять *інтервал значень, медіану, частоту події, імовірність події, дисперсію*.

#### **Забезпечення лабораторної роботи:**

1. Картридж побутових фільтрів «Бар'єр», «Brita», «Brita Aluna», «Аквафор - глечик» на початку періоду експлуатації й при закінченні гарантійного терміну експлуатації.
2. Витратоміри;
3. Папір міліметровий формату А4;
4. Експериментальні дані терміну служби завантаження побутових фільтрів різних фірм виробників;

В якості завантаження застосовується адсорбент - активоване вугілля гранульоване і порошкоподібне (рис. 3.1 а і б відповідно).



Рисунок 2.1 – Активоване вугілля

Таблиця 2.1 – Середній ресурс роботи фільтрів.

Назва	Клас	Ресурс, л
В 300	Насад.	1000
А-Глечик	Глечик	700
А-Модерн	Наст.	4000

У-150	Стац.	1500
А-Комфорт	Стац.	8000
А-Соло	Стац.	4000
А-Дует	Стац.	4000
А-Тріо	Стац.	5000
Колібри	Насадка	1000
Аквафор В300	Насадка	1000

### Порядок проведення лабораторної роботи

Для проведення роботи необхідні дані терміну служби завантаження побутових фільтрів, які студенти одержать із технічних характеристик, наданих підприємством-виробником. Середній ресурс завантаження вичерпується через 2-3 місяці, і провести експеримент із 4 фільтрами в цих умовах нереально. Тому було вирішено умовно розбити лабораторну роботу на 2 частини.

Перша підготовча частина проводиться на початку семестру. Студенти встановлюють фільтри - насадки на водопровідні крани в кількості 2 штук однакової продуктивності, завантажених активним вугіллям різних марок і різних фірм - виробників (рис.2.2.) ще два у вигляді фільтрів-гличиків установлюють на лабораторних столах, але безпосереднього зв'язка з водопроводом вони не мають (рис 2.3.) У своїх лабораторних журналах студенти відзначають число і час установки фільтрів, а також визначають середню витрату, за допомогою витратоміра. Протягом усього досліджуваного періоду витрата води через кожний фільтр практично однакова, що обумовлене регулярним і рівномірним використанням води для проведення лабораторних робіт.

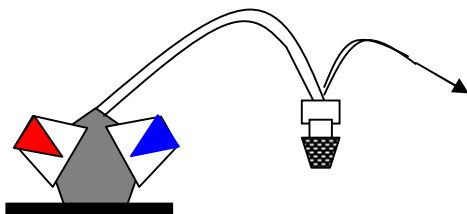


Рисунок 2.2 – Фільтр-насадка

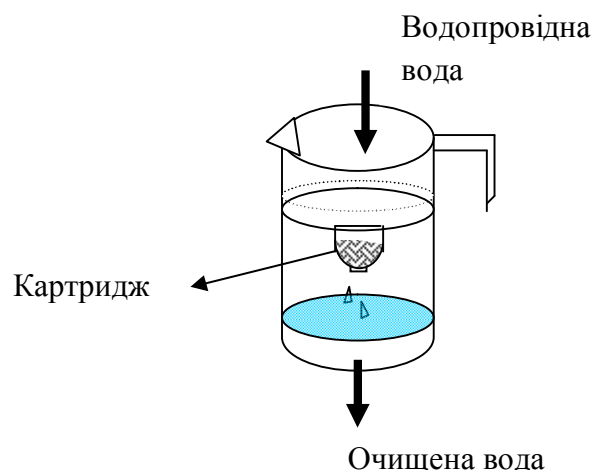


Рисунок 2.3 – Фільтр-гличик

У зв'язку з тим, що термін служби приблизно однаковий і становить 2-3 місяці (відповідно до технічних характеристик), то друга частина лабораторної роботи проводиться наприкінці семестру. Студенти при проведенні

попередніх робіт звертають увагу на роботу випробовуваних фільтрів і записують у свій журнал дату зниження надійності фільтра нижче припустимих експлуатованих меж, тобто коли відбувається відмова, у результаті якого вода перестає проходити крізь завантаження. Коли ж всі 4 фільтри відмовлять можна приступати до другого етапу роботи. Студент заповнює таблицю за зразком, представленим у таблиці 2.3, куди вносить всі дані терміну служби побутових фільтрів (у літрах), отриманих експериментальним шляхом (4 показники). Результати заносяться в таблицю в упорядкованому вигляді від мінімуму до максимуму.

Таблиця 2.2 – Результат випробувань терміну служби завантаження побутових фільтрів.

n=14

1220	1250	1290	1350	1390	1430	1470
1230	1270	1320	1370	1420	1450	1490

Згідно з отриманими даними знаходимо середньоарифметичне значення – математичне очікування  $\bar{x}$ , відповідно до формули (2.1), попередньо визначивши суму отриманих даних.

тут  $\bar{x}=1353,5$

$\Sigma=18950$

Далі необхідно визначити максимальне й мінімальне значення терміну служби згідно даних таблиці:

Найбільше значення - 1490

Найменше значення - 1220

Різниця між максимальним і мінімальним значенням (270) - називається *інтервалом* або *варіацією*. Середнє значення цих двох величин зветься *серединою інтервалу* (1355). Інтервал є характеристикою розкиду значень випадкової величини  $x$ .

Число, що ділить ряд вимірів на 2 рівні частини, називається **медіаною**. У цьому випадку медіаною буде число 1360, бо воно є середнім між двома центральними 1350 і 1370. Якщо  $n$  число непарне, то центральне число і береться за медіану.

Існує певна частота появи події на всьому інтервалі виміру, що для зручності розбивають на ряд відрізків, які залежать від кількості вимірів  $n$ . Існують певні рекомендації для вибору інтервалів залежно від кількості числа вимірів.

Для простоти й зручності візьмемо  $K=50$ , а інтервал значень виберемо від 1200 до 1500. Потім підрахуємо кількість вимірів, що потрапили в кожний інтервал, ці величини називаються **частотою, що спостерігається**. Цю частоту перераховуємо у відносну  $\frac{m_i}{n}$ ; Отримані дані зводимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Результат обробки вимірів терміну служби завантаження побутових фільтрів.

Інтервали	1200-1250	1250-1300	1300-1350	1350-1400	1400-1450	1450-1500
1. Частота, що спостерігається $m_i$	2	3	1	3	2	3
2. Відносна частота, $m_i / n$	0,143	0,214	0,071	0,214	0,143	0,214
3. Накопичена частота, $\sum m_i / n$	0,143	0,357	0,428	0,642	0,785	1,0

Необхідно зазначити, що спостережувана частота в першій графі повинна збігатися із загальною кількістю вимірів, а накопичена частота завжди буде прагнути до одиниці.

Далі на підставі цих даних будується графік зміни відносної частоти за інтервалами. Отримана діаграма називається **гістограмою диференціального розподілу** (рис. 2.4). Ордината на графіку називається відносною частотою. Якщо гістограма будується на основі генеральної сукупності, то відносна частота буде *ймовірністю потрапляння виміру всередину певного інтервалу*. Значення  $X$ , при якому  $f(x)$  досягає максимального значення називається **моду розподілу**.

Зазвичай мода відповідає величині, що найчастіше зустрічається у вимірах. Якщо відносні частоти підсумувати від інтервалу до інтервалу, то одержуємо **накопичені частоти**. Ламана лінія, що відбиває зміни накопиченої частоти називається **гістограмою інтегрального розподілу** (рис.2,5).

Далі згідно отриманим графічним даним (гістограма інтегрального розподілу) студентам необхідно визначити яка ймовірність, що термін служби не перевищить певного значення, яке задає викладач залежно від отриманих розрахункових і графічних даних. За допомогою гістограми диференціального розподілу студентам необхідно знайти моду розподілу. Гістограми будуються або на міліметровому папері, або в програмі EXEL.

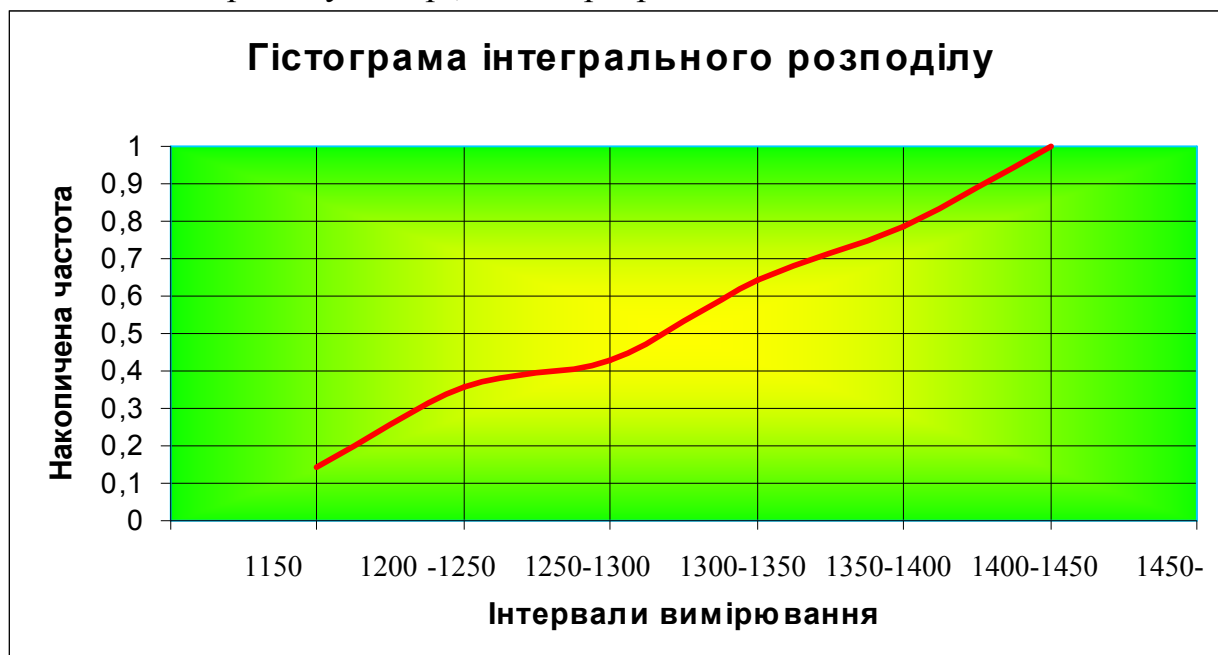


Рисунок 2.4 – Гістограма інтегрального розподілу

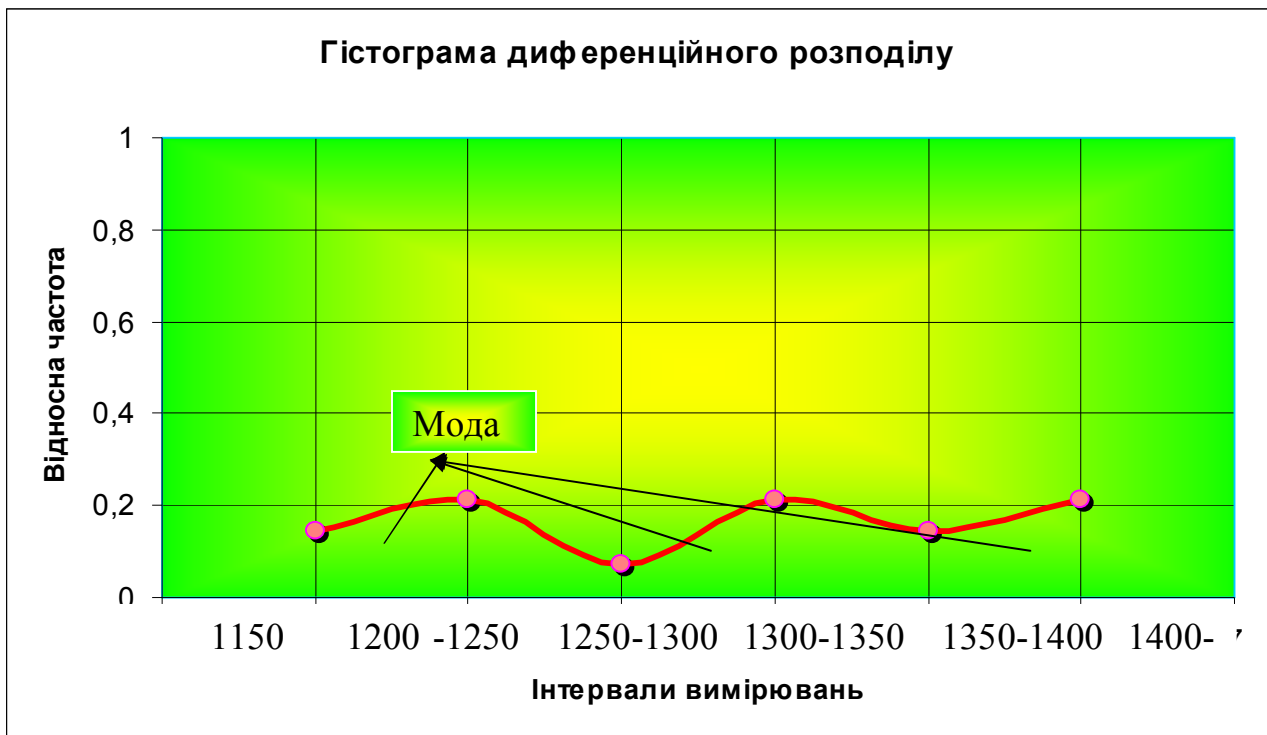


Рисунок 2.5 – Гістограма диференційного розподілу

### Лабораторна робота № 3

#### Визначення показників надійності відновлювальних елементів

##### Мета роботи:

Визначення параметра потоку відмов і напрацювання на відмову сітки механічного фільтра з величиною прозорів 95 мкм і побудова характерної залежності інтенсивності зношування від часу експлуатації.

##### Загальні відомості

Показники надійності кількісно характеризують надійність об'єкта. Вид залежностей для обчислення параметрів надійності визначається конфігурацією й умовами експлуатації системи. Варто розрізняти за цією ознакою такі види об'єктів:

невідновлювані - це об'єкти, які в процесі експлуатації не підлягають ремонту;

відновлювані – це об'єкти, які при виконанні своїх функцій допускають ремонт.

В останньому випадку елементи, що відмовили, негайно замінюються справними (новими або відремонтованими). Кількісними характеристиками надійності є: параметр потоку відмов і напрацювання на відмову.

**Параметром потоку відмов  $\omega(t)$**  називається відношення числа елементів, що відмовили, в одиницю часу до числа випробовуваних елементів за умови, що всі елементи, які вийшли з ладу, замінюються справними.



$$\omega(t) = \frac{n_{\Delta t}}{N\Delta t}, \quad (3.1)$$

де  $n_{\Delta t}$  - число елементів, що відмовили, в інтервалі часу  $\Delta t$ ;

$N$  - число випробовуваних елементів;

$\Delta t$  – величина інтервалу часу.

Іноді  $\varpi(t)$  називають **середньою частотою відмов**.

По визначенню  $\varpi(t)$  близько за змістом величині  $\lambda(t)$ , однак теоретично доведено, що  $\omega(t) = \lambda(t)$ , тільки при  $\lambda(t) = \text{const}$ . У техніці найчастіше ці параметри не розділяються, що може призвести до помітних помилок, незважаючи на їхню близькість. Проте у практиці розрахунків надійності поняття «інтенсивність відмов» застосовується й для відновлюваних виробів замість параметра потоку відмов. Численні експериментальні дані показують, що функція  $\lambda(t)$  має три характерних періоди (рис. 4.3.).

*Перший період* від 0 до  $T_n$ , є періодом коли відмовляють ті елементи, які мають серйозні дефекти. Інтенсивність відмов досить велика, але швидко зменшується. Час  $T_n$  називається періодом, що виявляє дефектність обладнання.

*Другий період* від  $T_n$  до  $T_u$  називають періодом нормальної роботи. Він характеризується відносно невеликою постійною величиною інтенсивності відмов. Час  $T_u$  – називають часом початку старіння й зношування.

*Третій період* при  $t > T_u$  є періодом старіння і зношування елементів. Термін служби елементів повинен прийматися не більш ніж  $T_u$ . Тоді при невеликій величині періоду приробітки можна вважати  $\lambda$  величиною постійної, і звідси можна вважати  $\varpi(t) = \lambda(t) = \text{const}$ . Така залежність характерна для ремонтованих і неремонтованих виробів у більшості технічних систем.

**2. Напрацюванням на відмову  $t_{cp}$**  називають середнє значення часу роботи елементів між сусідніми відмовами:

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}; \quad (3.2)$$

де  $t_{cp}$  – час справної роботи елемента між (i-1) і i-м відмовами;

$n$  - число відмов за якийсь час  $t$  (період спостережень).

З визначення можна зробити висновок, що напрацювання на відмову є середнім часом між сусідніми відмовами і дорівнює величині, зворотній середній частоті відмов.

Інтенсивність відмов:

$$\lambda_1 = \frac{n_1}{t_1} \text{ 1/год} \quad (3.3)$$

де  $n_1$  - кількість відмов;

$t_1$  - період випробування;

**Забезпечення лабораторної роботи:**

1. Фільтр механічний з фільтруючим елементом у вигляді сітки з величиною прозорів 95 мкм (нова) - рис. 4.1;
2. Фільтр механічний з фільтруючим елементом у вигляді сітки з величиною прозорів 95 мкм зі значними дефектами;
3. Фільтр механічний з фільтруючим елементом у вигляді сітки з величиною прозорів 95 мкм, строк експлуатації якої відомий і підходить до завершення;
4. Папір міліметровий формату А4;
5. Програмне забезпечення Microsoft Word (EXEL).

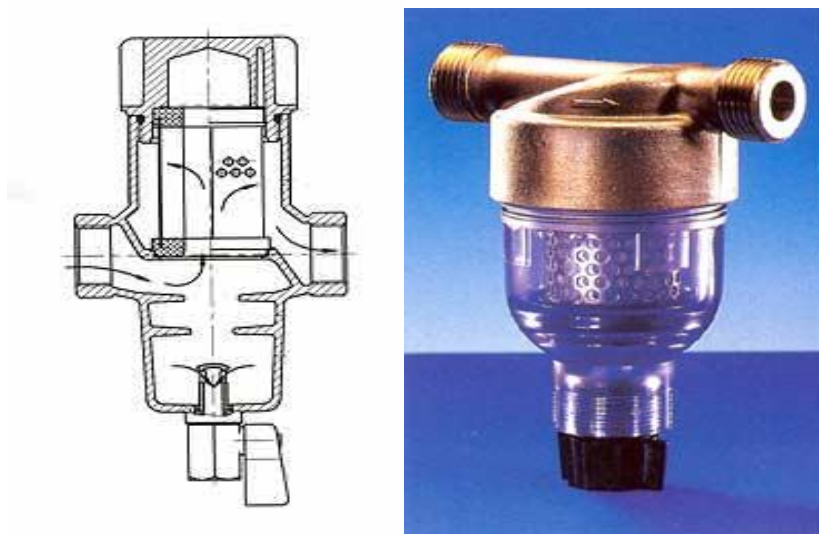


Рисунок 3.1 – Фільтр механічний з фільтруючим елементом у вигляді сітки з величиною прозорів 95 мкм

**Порядок проведення лабораторної роботи**

Відповідно до завдання необхідно визначити параметр потоку відмов елементів відповідно до формули (3.1). При визначенні, варто враховувати, що в експерименті беруть участь три елементи з різним терміном служби і «фізичним» станом. Величина інтервалу часу випробування варіюється залежно від якості води, але з урахуванням обмеженості часу проведення роботи, сітка з дефектами і вже експлуатована повинні вийти з ладу за 2 години. Таким чином вода повинна бути сильно забруднена зваженими домішками, шматками іржі.

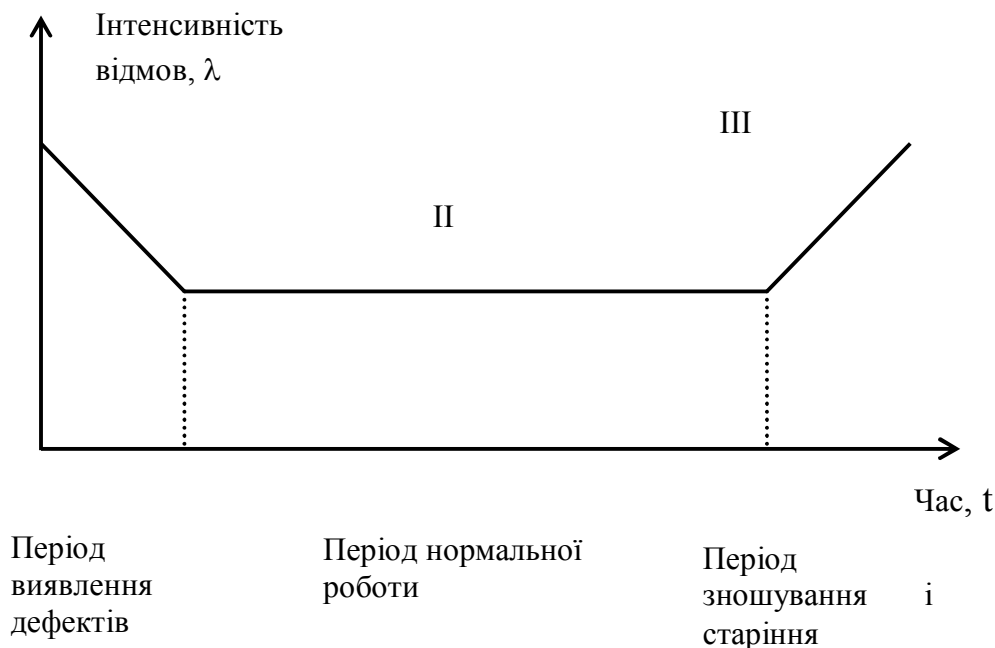
Після того як відбулася відмова деяких елементів дослід припиняють, занотовуючи число елементів, що відмовили і величину інтервалу часу.

Далі визначають напрацювання на відмову за формулою (3.2.) Для визначення цієї величини знадобляться дані отримані для попереднього випадку, а саме кількість відмов, час напрацювання кожного із трьох досліджуваних елементів (сітки), які необхідно буде просумувати.

На міліметровому папері або за допомогою програми -EXEL необхідно зобразити характерну залежність інтенсивності зношування від часу

експлуатації. Для цього потрібно мати дані про час роботи сітки механічного фільтра до участі в експерименті (цей параметр призначається викладачем й залежно від якості води і перебуває в межах 10-15 годин, з урахуванням того, що робота навчальна), час відмови сітки механічного фільтра з дефектом, час нормальної роботи нової сітки (до першої відмови) і вихід з ладу вже експлуатованої сітки. Назва й опис кожного з періодів було наведено в загальних вказівках до роботи, тому перед побудовою графіка студентам рекомендується уважно з ними ознайомитися. Для побудови знадобляться також значення інтенсивності відмови елементів, які можна знайти за допомогою формули (3.3).

Графік буде виглядати наступним чином:



## ЗМ 2 Підвищення ступеня безпеки та надійності систем водопостачання.

### Лабораторна робота № 4

#### Проведення експертних оцінок при розрахунках потоків відмов трубопроводів

**Мета роботи** – визначення інтенсивності потоків відмов трубопроводів від впливу зовнішніх природних факторів, шляхом експертних оцінок на основі експериментальних і розрахункових даних.

#### Загальні відомості

Для визначення потоків відмов трубопроводів від дії зовнішніх природних факторів необхідно одержати конкретні значення можливих діапазонів частот динамічних процесів, 1/рік, а також імовірність появи руйнування трубопроводу після динамічних процесів. Ті ж самі дані будуть потрібні й для визначення потоків відмов трубопроводів від дії зовнішніх динамічних процесів техногенного походження. Вирішення поставленого завдання можливо тільки на основі експертних оцінок даних величин. Кожний

фахівець (студент) дає свою незалежну оцінку фактору, що оцінюється і приймається як розрахункова величина, далі визначається середній бал, який і є рішенням завдання. Звісно даний метод не є досить точним тому що в ньому не враховані компетентність експертів (студентів), варіації оцінок.

Дана методика передбачає підбор експертів з розподілом їх по групах спеціалізації й одержання експертних оцінок у табличній формі за розглянутими показниками.

При підборі експертів необхідно визначити достатню кількість груп фахівців різної орієнтації, що становить не менш 9, але, з огляду на те, що робота є навчальною й серед студентів немає фахівців з деяких груп (геологи, гідрогеологи, сейсмологи), тому кількість експертних груп буде скорочено, а відсутні дані будуть отримані з довідкового матеріалу.

#### ***Забезпечення лабораторної роботи:***

1. розрахункові дані;
2. загальний перелік динамічних природних процесів і ймовірності руйнуючих впливів на підземні трубопроводи (табл. 4.1);
3. карти сейсмологічної активності України (імовірність землетрусу 1 раз на 500 років, 1 раз на 5000 років-рис.4.1 та 4.2 відповідно).

Таблиця 4.1 – Загальний перелік динамічних природних процесів і ймовірності їх руйнуючих впливів на підземні трубопроводи.

<b>Динамічні процеси, що впливають на трубопроводи</b>	<b>Можливі діапазони частот (<math>\nu_i</math>) динамічних процесів, 1/рік</b>	<b>Ймовірності (<math>P_{Ts}</math>) появи руйнувань на трубопроводах після динамічних процесів.</b>
Землетрус 5-8 балів	$\nu_1 = 1 \dots 0 \dots 0,0001$	$P_1 = 0,1 \dots 0 \dots 0,6$
Землетрус 8-10 балів	$\nu_2 = 0,1 \dots 0 \dots 0,0000001$	$P_1 = 0,5 \dots 1 \dots 1,0$
Невраховані осідання ґрунту до 20 см.	$\nu_3 = 10 \dots 0 \dots 0,01$	$P_1 = 0,0 \dots 0 \dots 0,2$
Невраховані осідання ґрунту понад 20см.	$\nu_4 = 1 \dots 0 \dots 0,001$	$P_1 = 0,01 \dots 0 \dots 0,4$
Зрушення поверхні ґрунту на територіях, що підпрацьовуються	$\nu_5 = 1 \dots 0 \dots 0,01$	$P_1 = 0,0 \dots 1 \dots 1,0$
Деформації масивів ґрунту на територіях, що підпрацьовуються	$\nu_6 = 1 \dots 0 \dots 0,01$	$P_1 = 0,0 \dots 1 \dots 1,0$
Осідання земної поверхні на карстових територіях	$\nu_7 = 1 \dots 0 \dots 0,01$	$P_1 = 0,1 \dots 1 \dots 1,0$
Утворення провалів на карстових територіях	$\nu_8 = 1 \dots 0 \dots 0,001$	$P_1 = 0,0 \dots 0 \dots 0,5$
Наповзання ґрунту на трасу трубопроводу	$\nu_9 = 1 \dots 0 \dots 0,01$	$P_1 = 0,0 \dots 0 \dots 0,5$
Зрушення ґрунту при зсувах	$\nu_{10} = 10 \dots 0 \dots 0,001$	$P_1 = 0,0 \dots 0 \dots 0,9$
Зміна зовнішнього навантаження на трубопровід при повенях	$\nu_{11} = 10 \dots 0 \dots 0,01$	$P_1 = 0,0 \dots 0 \dots 0,7$
Розмив засипання трубопроводу	$\nu_{12} = 1 \dots 0 \dots 0,01$	$P_1 = 0,0 \dots 0 \dots 0,9$

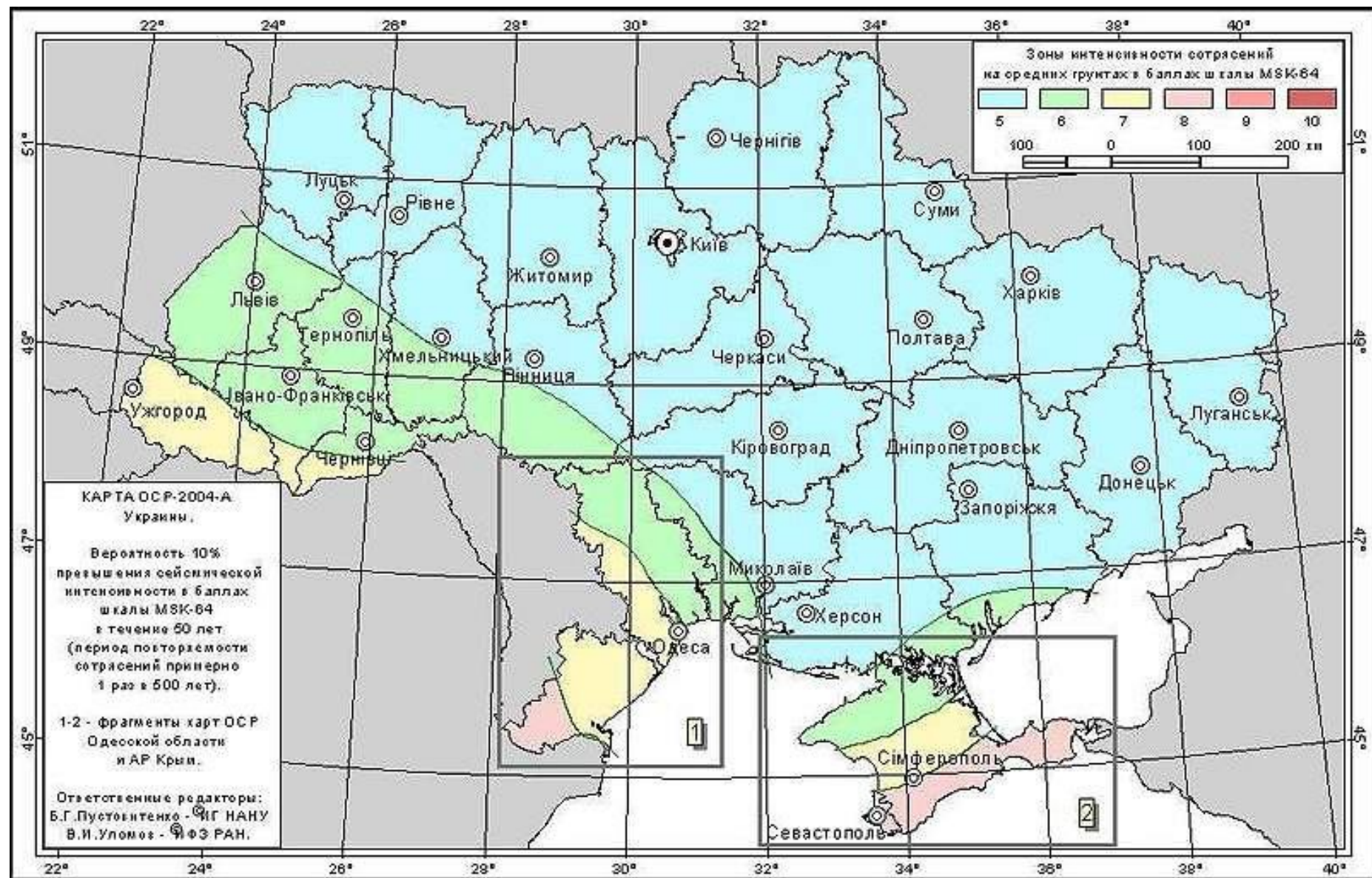


Рисунок 4.1 – Карта сейсмологічної активності України протягом 50 років, з періодом повторюваності струсів 1 раз на 500 років.



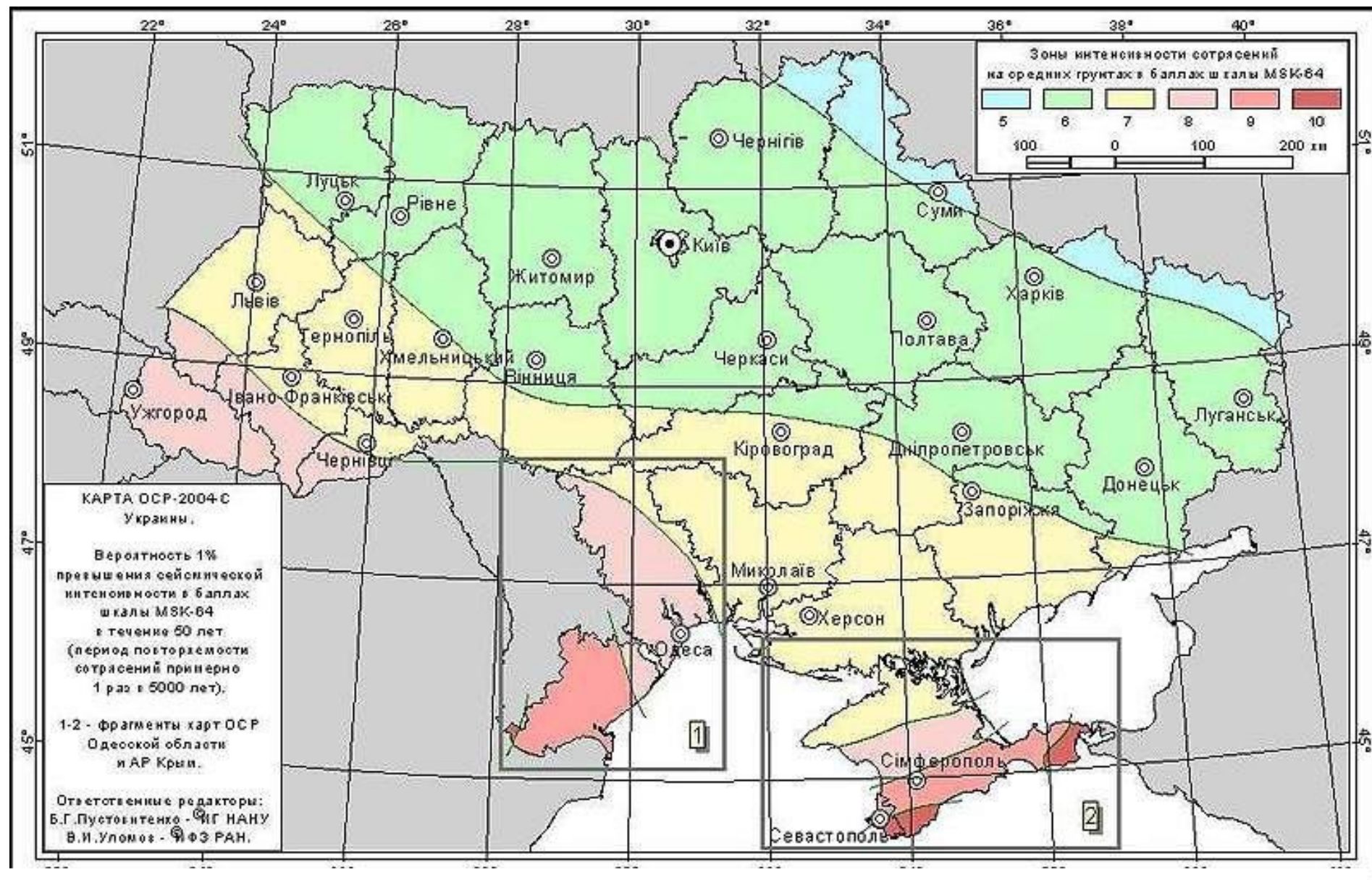


Рисунок 4.2 – Карта сейсмологічної активності України протягом 50 років, з періодом повторюваності струсів 1 раз на 5000 років.

### Порядок проведення лабораторної роботи

Група студентів ділиться на 5 експертних груп:

- Фахівці-екологи - **Е**;
- Фахівці- експлуатаційники - **Є** ;
- Проектувальники інженерних мереж – **П**;
- Фахівці – сейсмологи - **С** (повторюваність 1 раз в 500 років, досліджувані міста Ужгород, Севастополь.);
- Фахівці – сейсмологи – **С<sub>1</sub>**(повторюваність 1 раз в 5000 років досліджувані міста Севастополь, Суми);

Для груп **С** і **С<sub>1</sub>** ймовірність появи руйнування трубопроводу коливається в межах від 0 до 1. При знаходженні ймовірності появи руйнування трубопроводу в тій або іншій області України необхідно проаналізувати карту сейсмологічної активності. Умовно приймаємо, що землетрус в 5-7 балів прирівнюється до ймовірності появи руйнувань трубопроводів після динамічного впливу в межах 0,1-0,6, у випадку 7-10 балів 0, 6-1,0 відповідно. Якщо виникає потреба значення інтерполюють.

Кожна група заповнює анкетні матеріали за зразком (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Відносна вагомість різних числових значень показника.

№ Інтервалів значень показника	Інтервали числових значень показника	Оцінка в балах вагомості інтервалів значень показника	Індекс групи фахівця
1	2	3	4

ля одержання оцінок експерта в назві таблиці вказується найменування й позначення оцінюваного показника. Виходячи з того що група студентів розбита на 5 експертних комісій для визначення виберемо наступні показники:

Для групи **Е** – Зміну зовнішнього навантаження на трубопровід при повеннях ( $v_{12}$ );

Для групи **Є** - Розмив засипання трубопроводу ( $v_{12}$ );

Для групи **П** – Зрушення ґрунту при зсувах ( $v_{10}$ );

Для групи **С** - Землетрус ( $v_{1,2}$ );

У графі 1 таблиці проставляються номери інтервалів числових значень показника (для кожної підгрупи свій), у графі 2 приводяться самі числові значення цих інтервалів. В 3 графі необхідно дати свою оцінку за десятибальною системою вагомості інтервалу значень показника. В 4 графі необхідно поставити індекс своєї підгрупи (літеру).

Виходячи із загальної кількості студентів у групі 25 чоловік, кожна підгрупа буде складатися з 6 студентів. Тобто кожна експертна група отримає 6 варіантів анкет, які потім необхідно буде обробити й вивести середній показник по підгрупі.

Приклад заповнення таблиці наведений у таблиці 4.3

Таблиця 4.3 – Відносна вагомість різних числових значень частоти природних динамічних впливів на трубопровід від зрушень ґрунту на території, де зафіксовані зсуви.

№ значень показника $\nu_{10}$	Інтервали числових значень показника $\nu_{10}$	Оцінка в балах вагомості інтервалів значень показника $\nu_{10}$	Індекс групи фахівця експерта
1	0, 001-0,1	5	П
2	0, 1-0,5	9	
3	0, 5-1,0	10	
4	1, 0-2,0	9	
5	2, 0-3,0	7	
6	3, 0-4,0	5	
7	4, 0-5,0	3	
8	5, 0-6,0	1	
9	6, 0-7,0	1	
10	7, 0-8,0	-	
11	8, 0-9,0	-	
12	9, 0-10,0	-	

Друга колонка заповнюється згідно даним можливих діапазонів частот динамічних процесів, наведених у таблиці 4.1. з третьої колонки стає очевидним, що в цьому випадку експерт визначив, що найбільш ймовірною частотою впливу на трубопровід зрушень ґрунту є частота від 0,5 до 1 впливів за рік. Інші частоти менш імовірні. Форма другої анкетної таблиці й приклад її заповнення наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Джерела аргументації, що послужили підставою для оцінки показника  $\nu_{10}$

Джерела аргументації	Ступінь впливу джерела на думку експерта		
	Висока	Середня	Низька
Проведений теоретичний аналіз	-	-	-
Виробничий досвід	+	-	-
Узагальнення вітчизняних спостережень аварійних ситуацій на трубопроводах	-	+	-
Узагальнення закордонних спостережень аварійних ситуацій на трубопроводах	-	-	+
Знання умов по трасі проєктованого трубопроводу	+	-	-
Інтуїція	-	+	-

При заповненні даної таблиці експерт заповнює 3 останні колонки шляхом проставляння знаків «+» «-», залежно від того впливали дані джерела аргументації на його оцінку чи ні, і якщо впливали, то в якому ступені.

Форма третьої анкетної таблиці й приклад її заповнення наведені в таблиці 4.5.



Таблиця 4.5 – Кількісна оцінка ступеня знайомства експерта із проблемою природних динамічних впливів на трубопроводи.

Форма знайомства експерта із проблемою	Оцінка
Участь у проектуванні трубопроводу для аналогічних умов	0,0
Участь у будівництві трубопроводу	0,0
Участь у розслідуванні аварій на трубопроводах	0,9
Участь у семінарах і конференціях із проблем трубопроводів.	0,2

У таблиці необхідно заповнити лише другий стовпчик. У якому необхідно поставити оцінку в частках одиниці (від 0 до 1,0), тим формам знайомства, які наведені в таблиці. У даному прикладі експерт зауважує, що найбільше активно брав участь у розслідуванні аварій на трубопроводах.

Після заповнення всіх трьох таблиць проводиться звірення результатів з виявленням найбільш достовірного. В ідеалі це здійснюється за допомогою ЕОМ, але в цьому випадку можна обійтися простим звіренням даних і виявлення середнього.

Після того як всі дані будуть занесені в таблицю й оброблені кожній експертній групі необхідно буде привести перелік заходів щодо підвищення надійності експлуатації трубопроводів при мінімізації зовнішніх природних і техногенних навантажень за такими показниками як зменшення впливу сейсмологічних процесів, просадки ґрунтів, зсувів і повеней. Необхідно враховувати що, як правило ці заходи закладаються ще на проектному або, у крайньому випадку, будівельному етапі. Студентам також пропонується оцінити ефективність кожного, запропонованого ними варіанту.

### *Лабораторна робота № 5*

#### **Використання сучасних методів будівництва та реконструкції водопровідних мереж**

**Мета роботи** – ознайомлення з порядком проведення TV діагностики водопровідних труб, виготовлених з різних матеріалів, виявлення основних експлуатаційних дефектів, порівняння гідравлічних характеристик досліджуваних трубопроводів, ознайомлення з сучасними методами будівництва та санації водопровідних мереж, особливостями використання на практиці.

#### **Загальні відомості**

Ремонт трубопроводів - серйозна проблема, сполучена з великими витратами. Інша проблема - складність монтажу системи трубопроводу і пов'язані з нею витрати.

Існують два основні способи прокладання та санації трубопроводів:

- відкритий;

- безтраншейний.

Перед початком роботи внутрішня поверхня попередньо відключеного ділянки водопроводу повинна піддаватися ретельному очищенню. Після продувки ділянка, що ремонтується повинна бути ретельно оброблена з метою ліквідації відкладень з внутрішніх стінок за допомогою скребків, щіток, поршнів і піскоструминного очищення з подальшим видаленням забруднень з внутрішньої порожнини трубопроводу. Якість очищення слід контролювати за допомогою телевізійних приладів.

Перед початком проведення відновлювальних робіт необхідно також здійснити діагностування камер перемикавання, виявити наявність осідань, зсувів, а потім по можливості визначити наявність і місце обвалів, просадок труб і т. п.

При підготовці до проведення діагностування, яка виконується із камер перемикавання, припиняється подача води і роз'єднуються засувки та трійники.

Найбільш цінну і досить повну інформацію дає обстеження трубопроводу зсередини за допомогою телевізійних малогабаритних камер (рис. 11.7).

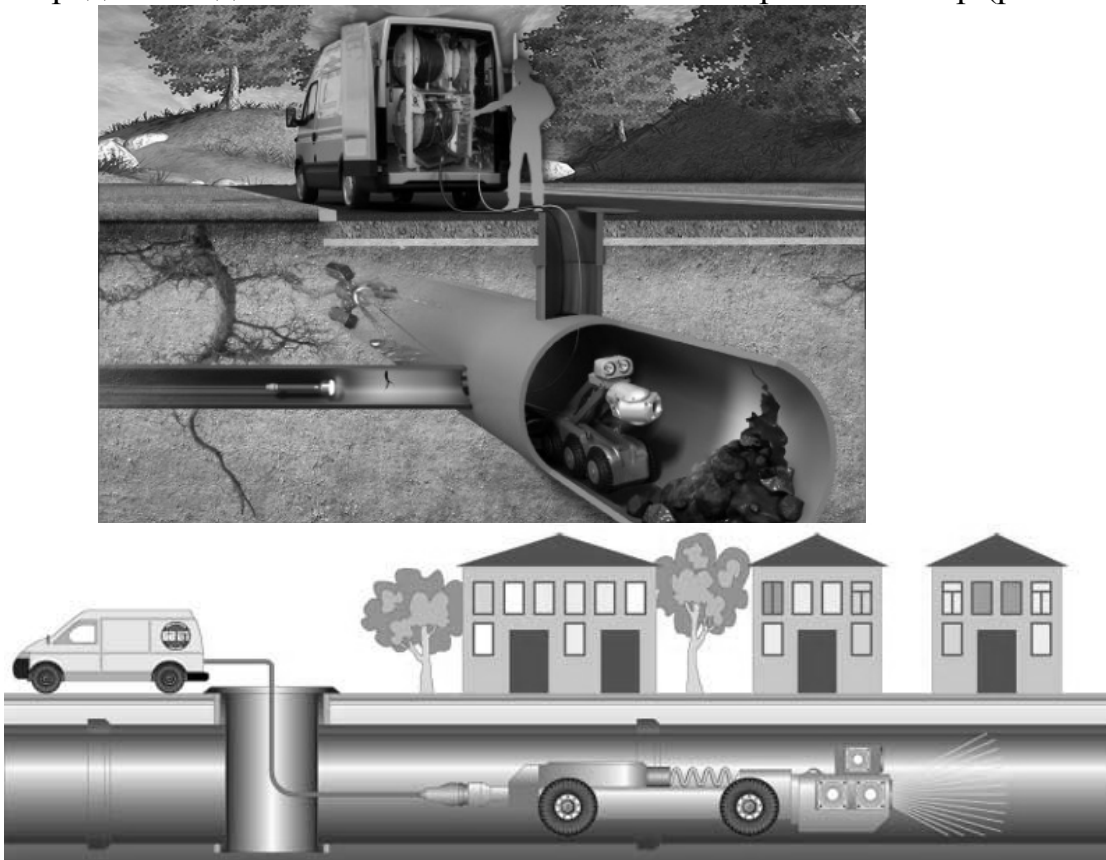


Рисунок 5.1 – Обстеження трубопроводу зсередини за допомогою телевізійних малогабаритних камер

Ефективність проведення TV – діагностики залежить від стану внутрішньої поверхні мережі після гідродинамічного очищення, освітлення мережі і положення камери в середині ділянки, що діагностується

У разі сильного обростання стінок водопроводу зсередини перед проведенням власне реконструктивних робіт проводять очищення його внутрішньої порожнини методами, що обираються в залежності від розмірів трубопроводу і видів відкладень на його стінках.

Місце для розробки котлованів вибирають з урахуванням конкретної обстановки: забудованої території, наявності підземних і надземних інженерних і транспортних комунікацій, зручності розташування обладнання та розміщення протягують труб, а також стану елементів відновлюваного водопроводу.

Перед початком процесу протягування необхідно здійснити протяжку контрольного зразка з метою виявлення можливостей для якісного тяжіння нового трубопроводу. Контрольний зразок - це з'єднання призначених до протягування 2 труб, оснащених з обох сторін оголовками, загальною довжиною 5-10 діаметрів.

У місцях обвалів або непрохідних ділянок на реконструюється мережі необхідно провести розкривні роботи для вирівнювання та звільнення трубопроводу від засмічень і завалів.

Таким чином, реконструкція водопроводів повинно здійснюватися за допомогою машин, обладнаних спеціальними пристроями і пристосуваннями (барабаном реверс-машини, реверсивної головкою, валиками, баком для води, швидкісним парогенератором, електрогенератором і розподільним пристроєм, телевізійними приладами для діагностування – рис. 5.2).



Рисунок 5.2 – Роботехнічні комплекси для телеінспекції

- Ручна відеоінспекційна камера Ridgid micro CA-25;
- Відео матеріали щодо експлуатації камери (режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=biJO4IkEfws>);
- Фрагменти поліетиленового трубопроводу нового,  $d=110$  мм;
- Фрагменти чавунного трубопроводу (що був у вжитку )  $d=110$  мм;
- Фрагменти нового чавунного трубопроводу  $d=110$  мм;
- Фрагменти сталевих трубопроводу нового  $d=100$  мм;
- Фрагменти сталевих трубопроводу, що був у вжитку  $d=100$  мм;



Рисунок 5.3 – Ручна відеоінспекційна камера Ridgid micro CA-25

Основне призначення відеодіагностичного пристрою Ridgid Micro CA-25:

- внутрішній огляд трубопроводів;
- обстеження повітроводів;
- відео обстеження важкодоступних місць;
- можливість підключення записуючого пристрою;

### Порядок проведення лабораторної роботи

Після перегляду навчального відеоматеріалу та пояснень викладача, щодо особливостей експлуатації відеодіагностичного пристрою Ridgid Micro CA-25, провести діагностику стану внутрішньої поверхні всіх наявних фрагментів трубопроводів, описати зміну їх гідравлічних характеристик та виявлені дефекти чи недоліки, що виникли при експлуатації трубопроводів. Всі отримані данні винести до таблиці 5.1, приклад заповнення якої наведено нижче.

Таблиця 5.1 – Виявлені дефекти водопровідних труб

Матеріал та діаметр трубопроводу	Термін експлуатації	Виявлені дефекти	Рекомендований спосіб усунення дефектів
Поліетиленовий, D=110мм	новий	Трохи нерівна внутрішня поверхня трубопроводу (виробничий дефект), поверхня гладка, шорсткість низька	Вдосконалення технології виробництва, покращення роботи відділу контролю якості на виробництві.
Чавунний D=100мм	старий	Виявлено осад, іржу, нерівні, шорсткі поверхні з великим ступенем обростання	Попереднє прочищення трубопроводу механічним способом, санація трубопроводу методом U-лайнер, що дозволить значно поліпшити низькі гідравлічні характеристики трубопроводу.

### ЗМ 3 Підвищення ступеня безпеки та надійності систем водовідведення

#### *Лабораторна робота № 6*

#### **Основні причини зниження надійності каналізаційних мереж. Підвищення надійності та довговічності роботи мереж водовідведення за рахунок санації**

**Мета роботи** – ознайомлення з основними причинами зниження надійності роботи каналізаційних мереж, основами використання передових методів санації каналізаційних мереж. Отримання навичок з вибору економічно обґрунтованого та технічно доцільного методу прокладання та санації мереж.

#### ***Загальні відомості***

*Відкритий спосіб ремонту та відновлення трубопроводів* має значні переваги перед закритим, якщо глибина залягання мережі незначна та мають місце сильні локальні пошкодження великої кількості приєднаних каналів. При цьому забезпечуються належна якість і довговічність стикових з'єднань. Відкритий спосіб ремонту та відновлення дозволяє:

- -безособливих проблем збільшувати поперечні перерізи трубопроводу;
- -проводити ремонтно-відбудовчі роботи незалежно від поперечного переріза відновлюваної ділянки, розмірів траси;
- -здійснювати роботи незалежно від геологічних і гідрогеологічних умов і глибини залягання трубопроводу;
- вибирати найбільш зручну трасу.

Відкритий спосіб прокладання труб виконується в 5 етапів:

- розкопування траншеї потрібної глибини
- підготовка підвалин трубопроводу;
- укладання нової труби,
- зворотне засипання;
- відновлення ґрунту та зелених насаджень, благоустрій об'єкта.



Рисунок 6.1 – Відкритий спосіб прокладки

Разом з тим відкритий спосіб має ряд недоліків:

- створюються незручності для мешканців даного району, і в першу чергу для пішоходів;
- необхідність вживати заходів до зниження рівня ґрунтових вод, і особливо дощових вод;
- при веденні робіт доводиться враховувати паралельні і пересічні комунікації міського господарства;
- необхідно вирішувати проблеми, пов'язані з водовідливом і зміцненням стінок розроблювальних траншей.

*Безтраншейна санація* – нове рішення для ремонту та модернізації мереж водопостачання і каналізації. На відміну від відкритого способу ремонту цей метод дозволяє в кілька разів швидше та з меншими витратами здійснити відновлення комунікацій.

Ремонт відбувається шляхом протягання полімерного рукава в пошкоджену або зруйновану трубу.

Спосіб придатний для напірних, і безнапірних трубопроводів.

Зниження діаметра труби в результаті санації компенсується гладкою внутрішньою поверхнею полімерних труб з коефіцієнтом шорсткості 0,01 мм (завдяки зменшенню тертя рідини об стінки пропускна здатність трубопроводу практично не міняється).

У цей час існує п'ять основних способів безтраншейного ремонту трубопроводів:

«труба в трубі» - протаскування усередину трубопроводу, що ремонтується нового рукава труб з поліетилену. При цьому зовнішній діаметр поліетиленового рукава близький до внутрішнього діаметра ділянки, що ремонтується але завжди менше діаметра останнього;

«виламування» - віброударне або гідравлічне руйнування ділянки, що ремонтується з метою протаскування нового поліетиленового трубопроводу або відрізків труб, при цьому діаметр трубопроводу після ремонту стає на один типорозмір більше вихідного діаметра трубопроводу;

«панчоха» - протаскування усередину ділянки, що ремонтується трубопроводу - панчохи зі спеціальних матеріалів, при цьому після спеціальної обробки «панчоха» щільно прилягає до внутрішньої поверхні труби, що ремонтується;

«U-лайн» - протаскування усередину трубопроводу, що підлягає ремонту U-образної труби з поліетилену з наступним її розпрямленням по внутрішній поверхні ділянки за допомогою теплоносія певної температури;

локальний ремонт - закладення стикових з'єднань, місць підключення бічних відводів і невеликих тріщин за допомогою робототехнічних пристроїв.

Нові трубопроводи прокладають, як правило, методом горизонтального буріння.

Існують різновиду перерахованих способів, які являють собою комбінацію відомих.

### ***Забезпечення лабораторної роботи:***

- відеоматеріали з основних способів безтраншейного прокладання та санації мереж;
- відеоматеріали з відкритого способу санації трубопроводів;
- мапа місцевості , де планується проведення санації мережі (декілька варіантів);
- гідрологічні умови обстежуваної території

### **Порядок проведення лабораторної роботи**

Група студентів поділяється на 5 підгруп, кожна з якої отримуємо пакет із завданням, який включає:

- мапу місцевості з нанесеними природними та штучними перепонами;
- гідрологічні характеристики місцевості;

Студентам пропонується ознайомитися з загальними відомостями із способів санації та прокладання трубопроводів, основними проблемами, що виникають в процесі відновлювальних та будівельно-монтажних робіт. В ході роботи пропонується перегляд відеоматеріалів відповідних способів безтраншейної санації та відкритого способу прокладання та ремонту трубопроводів.

На основі отриманих даних та роздаткового матеріалу у вигляді завдання кожній підгрупі пропонується обрати оптимальний спосіб санації трубопроводу та обґрунтувати його.

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ**

Навчальним планом передбачено виконання курсової роботи «Підвищення надійності роботи ВК систем».

**Мета роботи** – оволодіння і закріплення студентами навичок вирішення практичних занять та самостійна робота з додатковою літературою при виконанні теоретичної частини. Курсова робота складається з двох частин:

- 1 – теоретична частина;
- 2 – розрахункова частина.

Теоретична частина передбачає розгляд двох проблемних питань з курсу . При виконанні розрахункової частини студент студент розв'язує п'ять задач з конкретних ситуацій в галузі надійності роботи ВК систем .

Нижче наведені варіанти питань з теоретичної частини та варіанти завдань. При виконанні роботи необхідно використовувати рекомендовану літературу.

## **ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА**

### **Варіант № 1**

1. Категорії надійності роботи системи водопостачання та водозабірних споруд;
2. Загальна і роздільне резервування;
3. Тривалість ліквідації аварій на водогонах, аналіз показників надійності для водоводу

### **Варіант № 2**

1. Характеристика функцій систем водопостачання та її основних станів.
2. Математичне очікування безперервних випадкових величин.
3. Надійність роботи водопровідних очисних споруд.

### **Варіант № 3**

1. Класифікація відмов (за часом виникнення, за характером виникнення, по зв'язку між собою, з причини виникнення);
2. Поняття елемента, системи, послідовне, паралельне, паралельно - послідовне з'єднання елементів;
3. Оцінка факторів надійності і довговічності каналізаційних мереж .

### **Варіант № 4**

1. Безтраншейна санація та прокладання трубопроводів;
2. Ковзаюче та тимчасове резервування;
3. Основні фактори надійності роботи водозабірних споруд;

### **Варіант № 5**

1. Шляхи підвищення надійності каналізаційної мережі;
2. Поняття елемента, системи, послідовне, паралельне, паралельно - послідовне з'єднання елементів;
3. Зниження впливу біологічної корозії при експлуатації каналізаційних трубопроводів.

### **Варіант № 6**

1. Системи з керованим процесом;
2. Надійність роботи насосних станцій;
3. Надійність роботи водопровідних очисних споруд.

### **Варіант № 7**

1. Показники надійності невідновлювальних елементів;
2. Відмова, види станів технічної системи (справний, несправний , граничний);
3. Рівноможлива та несумісна подія;



### **Варіант 8**

1. Ковзаюче та тимчасове резервування;
2. Класифікація відмов (за часом виникнення, за характером виникнення, по зв'язку між собою, з причини виникнення);
3. Оцінка факторів надійності і довговічності каналізаційних мереж .

### **Варіант № 9**

1. Класифікація відмов;
2. Поняття елемента, системи, послідовне, паралельне, паралельно - послідовне з'єднання елементів;
3. Показники надійності невідновлювальних елементів.

### **Варіант № 10**

1. Рівноможлива та несумісна подія;
2. Параметр потоку відмов;
3. Корозія бетонних каналізаційних трубопроводів під дією біологічних факторів .

### **Варіант № 11**

1. Класифікація відмов;
2. Основні фактори надійності роботи водозабірних споруд;
3. Системи з роздільним резервуванням.

### **Варіант № 12**

1. Категорії надійності роботи системи водопостачання та водозабірних споруд;
2. Загальне і роздільне резервування;
3. Безтраншейна санація та прокладання трубопроводів

### **Варіант № 13**

1. Рівноможлива і несумісна подія;
2. Параметр потоку відмов;
3. Основні фактори надійності роботи водозабірних споруд

### **Варіант № 14**

1. Резервовані системи з паралельним включенням елементів;
2. Інтенсивність відмови;
3. Оцінка факторів надійності і довговічності каналізаційних мереж.

### **Варіант № 15**

1. Системи, що складаються з послідовно і паралельно включених комбінацій елементів;
2. Дефектоскопія, втрати води;
3. Резервування в системах з резервуарами;

### **Варіант № 16**

1. Забезпечення безпеки і надійності систем водопостачання в період проектування і будівництва;
2. Показники якості функціонування систем КГ;
3. Системи з керованим процесом водопостачання.

### **Варіант № 17**

1. Визначення показників надійності найпростіших резервованих систем з відновлюваних елементів;
2. Ковзаюче резервування<sup>4</sup>
3. Системи з випадковим некерованим процесом;

### **Варіант № 18**

1. Динамічне резервування (резервування заміщенням, навантажений, полегшений, ненавантажений резерв);
2. Стохастична і функціональна залежності;
3. Випадкові величини і закони їх розподілення;

### **Варіант № 19**

1. Основні фактори надійності роботи водозабірних споруд;
2. Забезпечення безпеки і надійності систем водопостачання в період проектування і будівництва, показники якості функціонування систем КГ;
3. Ймовірність відновлення і невідновлення ВК системи.

### **Варіант № 20**

1. Способи прокладки і санації трубопроводів;
2. Випадкові величини і закони їх розподілення;
3. Втрати води.

### **Варіант № 21**

1. Дефектоскопія, витoki води (видимі, приховані);

2. Забезпечення безпеки і надійності систем водопостачання в період проектування і будівництва;
3. Надійність роботи насосних станцій;

### Варіант № 22

1. Системи з керованим процесом водопостачання;
2. Ймовірність відновлення і невідновлення ВК системи;
3. Стохастична і функціональна залежності ;

### Варіант № 23

1. Основні фактори надійності роботи водозабірних споруд;
2. Безтраншейна санація та прокладання трубопроводів;
3. Системи з випадковим некерованим процесом водопостачання.

### Варіант № 24

1. Показники надійності невідновлювальних елементів;
2. Відмова, види станів технічної системи справний, несправний, граничний);
3. Коефіцієнт готовності, коефіцієнт простою.

### Варіант № 25

1. Стохастична і функціональна залежності;
2. Динамічне резервування (резервування заміщенням, навантажений , полегшений, ненавантажений резерв);
3. Основні фактори надійності роботи водозабірних споруд.

## РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Варіанти обираються згідно списку групи, задачі та приклади розв'язання задач наведені в даних методичних вказівках у розділі «Практичні заняття»

№ варіанту за списком	№ задачі									
	2.1	2.2	3.5	4.6	4.7	5.1	5.2	5.3	5.4	5.6
	№ варіанту задачі									
1	5	-	3	-	1	-	3	-	-	1
2	-	3	-	1	-	1	2	-	3	-
3	3	-	5	-	2	5	-	3	-	-
4	-	1	-	4	-	-	4	-	1	3
5	1	-	4	-	4	-	5	-	2	-

№ варіанту за списком	№ задачі									
	2.1	2.2	3.5	4.6	4.7	5.1	5.2	5.3	5.4	5.6
	№ варіанту задачі									
6	-	-	5	-	1	-	2	1	-	1
7	-	-	4	-	3	4	-	2	-	2
8	3	-	3	-	2	-	3	-	-	4
9	-	-	2	1	5	-	4	4	-	-
10	5	5	-	4	-	1	-	-	1	-
11	1	2	-	-	5	-	-	3	2	-
12	4	-	5	-	-	3	2	-	-	4
13	-	4	-	3	2	-	-	5	2	-
14	1	-	3	-		4	2	-	-	2
15	-	4	-	3	4	-	-	3	5	-
16	3	-	5	-	-	2	4	-	-	1
17	-	2	-	1	-	1	-	2	4	-
18	5	-	4	-	2	-	1	-	-	5
19	-	5	-	4	-	4	-	3	-	4
20	3	-	1	-	5	-	3	-	1	-
21	-	3	-	3	-	2	-	1	-	2
22	4	-	4	-	5	-	1	-	4	-
23	-	1	-	5	-	5	-	5		5
24	2	-	5	-	3	-	5	-	1	-
25	-	4	-	2	-	2	-	3	-	4

### Список рекомендованої літератури

1. Найманов А. Я. Основы надежности инженерных систем коммунального хозяйства / А. Я. Найманов, Н. Г. Насонкина. – Донецк: ИЕП НАН Украины, 2001.-152 с.
2. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність водопровідно-каналізаційних систем» / С. С. Душкін, М. В. Дегтяр ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015.– 116 с.
3. Абрамов Н. Н. Надежность систем водоснабжения /Н. Н. Абрамов.- Москва : Стройиздат, 1984. -216 с.

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

### ЗМ 1. Основні визначення і проблеми надійності ВК систем

#### **Тема 1** *Загальні відомості і проблеми надійності.*

Поняття надійності. Фізичний зміст надійності. Поняття системи. Поняття об'єкту. Властивості, події, стани. Безвідмовність. Довговічність. Ремонтопридатність. Ефективність. Зберігаємість. Справний, несправний стан. Працездатний стан. Граничний стан.

#### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Дайте визначення надійності.
2. Дайте оцінку об'єкту і системі.
3. Основні етапи розвитку теорії надійності
4. Поняття системи і об'єкта;
5. Технічні стани об'єкта з позицій надійності;
6. Справний та несправний стан об'єкта;
7. Працездатний та непрацездатний стан об'єкта;
8. Граничний стан об'єкта;
9. Дайте визначення відмові системи.

#### **Тема 2** *Випадкові величини і основні теоретичні закони їх розподілення.*

Функції розподілення щільності ймовірності. Дискретні та неперервні випадкові величини. Ряд розподілення випадкових величин. Математичне очікування випадкових величин. Дисперсія. Біноміальний розподіл. Розподіл Пуассона. Нормальний або гаусовий розподіл. Використання експонентного закону розподілу. Математичне очікування безперервних випадкових величин. Математичне очікування за біноміального розподілу. Дисперсія дискретних випадкових величин. Дисперсія безперервних випадкових величин.

#### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Поняття випадкових величин, їхні види;
2. Фактори залежності зміни обсягу водопостачання та водовідведення;
3. Поняття надійності, відмови;
4. Біноміальний розподіл.
5. Розподіл Пуассона;
6. Нормальний розподіл;
7. Експоненціальний закон розподілу;
8. Математичне очікування для біноміального закону розподілу, для дискретних, безперервних випадкових величин;
9. Дисперсія величин для біноміального закону розподілу, для дискретних, безперервних випадкових величин.

**Тема 3 Відмова.** Вплив відмов на показники якості функціонування систем водопостачання і водовідведення.

Аварійний стан. Кризовий стан. Ремонтний стан. Відмова. Повна відмова. Ушкодження. Відмови системи. Перебування системи в стані неповної працездатності. Відмова природних джерел води. Відмова системи енергопостачання. Відмова системи матеріального обслуговування. Закономірність виникнення відмов та періоди роботи об'єкту. Період монтажу й пуску. Період нормальної роботи. Період граничного стану. Залежність інтенсивності відмов від природних умов. Безвідмовність. Класифікація відмов за часом виникнення. Класифікація відмов за характером виникнення. Класифікація відмов по зв'язку між собою. Класифікація відмов за причиною виникнення. Класифікація відмов за Є.С. Переверзіним. Класифікація відмов, пов'язаних з людьми. Відмови за рівнем шкоди.

***Контрольні питання для самоперевірки***

1. Поняття безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, здатності до збереження, ефективності;
2. Види станів технічних систем;
3. Класифікації відмов;
4. Класифікація відмов Є.С. Переверзєва;
5. Невідновлювальні і відновлювальні системи;
6. Основні причини відмови системи водопостачання;
7. Охарактеризуйте закономірність виникнення відмов;
8. Залежність інтенсивності відмов від природних умов;
9. Безвідмовність системи.

**Тема 4 Спостереження і оцінка їх результатів**

Генеральна сукупність. Вибірка обсягу. Параметри та статистики. Математичне очікування. Інтервал значень, медіана, частота події, імовірність події, дисперсія. Інтервал або варіація спостереження. Середина інтервалу. Спостережувана частота. Накопичена частота. Ймовірність потрапляння виміру усередину певного інтервалу. Мода розподілу. Функція розподілу щільності ймовірностей. Побудова гістограми інтегрального розподілу. Побудова діаграми диференціального розподілу.

***Контрольні питання для самоперевірки***

1. Поняття генеральної сукупності;
2. Поняття вибірки, параметра і статистики;
3. Математичне очікування;
4. Поняття ймовірності події;
5. Поняття інтервалу, варіації, середини інтервалу;
6. Побудова діаграми диференціального та інтегрального розподілу

### **Тема 5 Загальні принципи підвищення надійності. Види резервування**

Обчислення показників надійності систем залежно від виду з'єднання елементів (структури, конфігурації) у системі. Послідовне та паралельне з'єднання. Шляхи підвищення надійності систем. Види резервування. Загальне резервування Роздільне резервування. Кратність резервування. Резервування за способом включення. Постійне резервування. Заміщене резервування. Стани резервних елементів при заміщенні. Полегшений стан. Навантажений стан. Ненавантажений стан. Тимчасове резервування.

#### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Поняття "елемента" і "системи";
2. Послідовне з'єднання елементів;
3. Паралельне з'єднання елементів;
4. Резервування елементів, його види;
5. Класифікація за способом включення резерву;
6. Ковзаюче резервування;
7. Постійне резервування;
8. Динамічне резервування;
9. Тимчасове резервування.

### **Тема 6 Показники надійності технічних систем**

Види показників (параметрів) надійності. Невідновлювальні об'єкти. Відновлювальні об'єкти. Одиничні й комплексні показники надійності. Показники надійності не відновлювальних елементів. Ймовірність безвідмовної роботи. Ймовірність відмови. Частота відмов. Інтенсивністю відмов. Залежність інтенсивності відмов і ймовірності безвідмовної роботи. Середній наробіток до першої відмови або середній час безвідмовної роботи. Показники надійності відновлюваних елементів. Параметр потоку відмов. Три характерні періоди інтенсивності відмов. Період припрацювання. Період початку старіння й зношування. Період старіння. Характерна залежність інтенсивності зношування від часу експлуатації. Наробіток на відмову. Комплексні показники безвідмовності й ремонтпридатності. Коефіцієнт готовності. Коефіцієнт простою. Ймовірність відновлення. Ймовірність не відновлення. Частота відновлення. Інтенсивність відновлення. Середній час відновлення.

#### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Види показників (параметрів) надійності;
2. Невідновлювальні об'єкти;
3. Відновлювальні об'єкти;
4. Одиничні і комплексні показники надійності;
5. Показники надійності не відновлювальних елементів;
6. Ймовірність відмови та безвідмовної роботи;
7. Частота відмов та інтенсивність відмов;

8. Параметр потоку відмов;
9. Три характерних періоди роботи елементів;
10. Поняття коефіцієнта готовності та простою;
11. Показники ремонтпридатності елементів;
12. Ймовірність відновлення та невідновлення;;
13. Частота та інтенсивність відновлення;

### **ЗМ 2 Підвищення ступеня безпеки та надійності систем водопостачання.**

#### **Тема 7 Основні цілі та задачі експлуатації систем водопостачання.**

Основні задачі експлуатації водозабірних споруд поверхневих та підземних джерел. Експлуатація очисних споруд. Водоводи та водопровідна мережа. Реагентне господарство. Насосні станції водопостачання.

##### ***Контрольні питання для самоперевірки***

1. Основні завдання служб експлуатації систем водопостачання;
2. Основні завдання експлуатації водозабірних споруд;
3. Водозабірні споруди поверхневих джерел водопостачання;
4. Водозабірні споруди підземних джерел водопостачання;
5. Очисні споруди та установки;
6. Реагентне господарство;
7. Насосні станції.

#### **Тема 8 Забезпечення безпеки та стабільності роботи систем водопостачання.**

Порівняльний аналіз відмов і порушень в роботі систем водопостачання.

Водопровідні мережі та споруди. Аналіз відмов та порушень в роботі водоочисних споруд та систем подачі води. Аналіз вимог та правил по нормуванню експлуатаційних заходів для систем водопостачання. Основні положення та заходи по забезпеченню безпеки експлуатаційної діяльності систем водопостачання. Порядок проведення паспортизації та інвентаризації споруд. Проведення оцінки та контролю показників надійності споруд водопостачання. Окремих споруд та обладнання водопостачання. Порядок проведення заходів по визначенню фактичного технічного стану системи подачі та розподілення води окремих споруд.

##### ***Контрольні питання для самоперевірки***

1. Основні фактори, що впливають на технічний стан водогінних мереж і споруд;
2. Документи, згідно яких здійснюється прокладання внутрішнього водопроводу та каналізації;
3. Аналіз причин аварій на трубопроводах;
4. Водопровідні мережі та споруди;
5. Причини відмов і порушень у роботі водопровідних споруд і систем подачі води;



6. Тупикові мережі та кільцеві мережі;
7. Комбіновані мережі;
8. Аналіз вимог та правил по нормуванню експлуатаційних заходів для систем водопостачання;
9. Основні положення та заходи по забезпеченню безпеки експлуатаційної діяльності систем водопостачання.

**Тема 9** *Сучасні методи визначання технічного стану мереж водопостачання.*

Аналіз статистичної інформації про мережі і споруди водопостачання. Аналіз статистичних даних по водоспоживанню. Методика комплексної діагностики водопровідних систем. Дефектоскопія. Математичне моделювання трубопровідних мереж. Розробка програми організаційно-технічних заходів з підвищення експлуатаційної надійності водопровідних мереж і споруд водопостачання. Підвищення ефективності роботи водопровідних мереж та насосних станцій.

***Контрольні питання для самоперевірки***

1. Спрацьованість систем водопостачання України;
2. Аналіз ступеня зношеності мереж;
3. Аналіз статистичних даних по водоспоживанню;
4. Водоспоживання та невиробничі втрати в мережах водопостачання;
5. Дефектоскопія;
6. Математичне моделювання трубопровідних мереж;

**Тема 10** *Забезпечення безпеки та надійності систем водопостачання в період проектування та будівництва.*

Загальні вимоги до проектування. Загальні вимоги до будівництва систем водопостачання. Сучасний монтаж систем водопостачання. Забезпечення надійності систем водопостачання. Надійність водозабірних споруд. Планування розвитку систем водопостачання. Підтримання надійності систем та об'єктів при експлуатації. Використання оцінки якості експлуатації при планування робіт по вдосконаленню технічної експлуатації.

***Контрольні питання для самоперевірки***

1. Вимоги до будівництва та проектування;
2. Надійність водозабірних споруд (фактор часу, гідрологічні та гідрогеологічні фактори, метеорологічні, біохімічних механічні фактори);
3. Підтримання надійності систем та об'єктів при експлуатації;
4. Використання оцінки якості експлуатації при планування робіт по вдосконаленню технічної експлуатації.

**Тема 11** *Сучасні методи будівництва та реконструкції водопровідних мереж та споруд.*

Вибір матеріалу труб для проектування водопровідних мереж. Відкритий спосіб ремонту. Безтраншейний спосіб ремонту. Класифікація безтраншейних методів.

«Труба в трубі». «Руйнація». Метод «панчоха». «U-лайнер». Локальний ремонт. Метод горизонтального буріння. Попередня підготовка трубопроводів. Гідравлічне очищення внутрішньої поверхні трубопроводу, що ремонтується. Телевізійна інспекція очищеної поверхні для прийняття рішення, щодо способу та методу ремонту. Обладнання для реалізації способів безтраншейного ремонту.

**Контрольні питання для самоперевірки**

1. Вибір матеріалу труб для проектування водопровідних мереж;
2. Відкритий спосіб ремонту;
3. Переваги та недоліки відкритого способу ремонту;
4. Безтраншейна санація;
5. Основні способи безтраншейного ремонту трубопроводів.

**Тема 12** *Технічне обслуговування систем водопостачання.*

Загальні положення. Система планово-попереджувального ремонту. Класифікація ремонтних робіт. Планування і організація ремонтних робіт. Розрахунок графіку ремонтного циклу з використанням теорії ймовірності. Тривалість міжремонтних періодів. Тривалість поточного ремонту. Тривалість капітальних ремонтів.

**Контрольні питання для самоперевірки**

1. Види ремонтів і структура ремонтного циклу;
2. З яких етапів складається планування ремонтних робіт;
3. Як розраховується тривалість міжремонтних періодів;
4. Класифікація ремонтних робіт;
5. Тривалість поточного ремонту.

**ЗМ 3** Підвищення ступеня безпеки та надійності систем водовідведення

**Тема 13** *Основні параметри надійності каналізаційних мереж.*

Довговічність. Частота аварій. Вплив різноманітних факторів на довговічність каналізаційних мереж (за І.О. Абрамовичем). Вплив різноманітних факторів на частоту аварій каналізаційних мереж. Шляхи підвищення надійності каналізаційних мереж. Кільцювання та дублювання мереж. Надійність та безаварійність каналізаційних тунелів. Категорії каналізаційних тунелів. Оцінка факторів аварійності тунелів. Графік проведення поточного та капітального ремонту. Показники капітальності каналізаційних тунелів.

### ***Контрольні питання для самоперевірки***

1. Основні параметри надійності каналізаційних мереж;
2. Фактори, що впливають на довговічність каналізаційних мереж;
3. Фактори, що впливають на частоту аварій каналізаційних мереж;
4. Способи підвищення надійності каналізаційних мереж;
5. Надійність та безаварійність каналізаційних тунелів;
6. Категорії аварійності та капітальності каналізаційних тунелів.

**Тема 14** *Основні причини зниження надійності каналізаційних мереж. Підвищення надійності та довговічності роботи мереж водовідведення за рахунок санації.*

Фактори, що впливають на надійність систем водовідведення. Випадкові та прогнозовані фактори. Основні причини відмови мереж. Механічні пошкодження. Корозійні пошкодження. Розриви стиків. Відмови арматури. Проектні, технологічні, будівельні і експлуатаційні фактори надійності і довговічності. виключення ризику аварій на колекторах. Поліпшення гідравлічного функціонування колекторів. Поліпшення фізичного стану колекторів. Зниження витрат на ремонт мереж, енерговитрат, скорочення термінів виконання робіт.

### ***Контрольні питання для самоперевірки***

1. Фактори, що впливають на надійність систем водовідведення;
2. Основні причини відмов мереж;
3. Групи факторів причин зниження надійності водовідвідних мереж;
4. Зниження витрат на ремонт мереж, енерговитрат, скорочення термінів виконання робіт;
5. Безвитратні, мало витратні, середньо витратні та високо витратні енергозберігаючі заходи;

**Тема 15** *Технічне обслуговування систем водовідведення.*

Порядок розрахунку показників надійності технічних систем. Планування і організація ремонтних робіт. Показники якості функціонування систем водовідведення. Показники надійності системи водовідведення. Розрахунок графіку ремонтного циклу з використанням теорії ймовірності. Тривалість міжремонтних періодів. Тривалість поточного ремонту. Тривалість капітальних ремонтів.

### ***Контрольні питання для самоперевірки***

1. Порядок розрахунку показників надійності технічних систем;
2. Планування і організація ремонтних робіт;
3. Рекомендації, щодо періодичності оглядів і ремонтів споруд і устаткування;
4. Показники якості функціонування систем водовідведення;
5. Структура ремонтного циклу.

### **Тема 16** *Організація роботи та експлуатація систем водовідведення.*

Аналіз умов функціонування водопровідно-каналізаційних систем. Оперативне керування системами водопостачання та каналізації. Контроль за експлуатацією та експлуатаційна документація. Збереження надійності систем та об'єктів при експлуатації. Екологічність процесу експлуатації. Економічність як показник якості експлуатації.

#### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Аналіз умов функціонування водопровідно-каналізаційних систем;
2. Оперативне керування системами водопостачання та каналізації;
3. Контроль за експлуатацією та експлуатаційна документація;
4. Екологічність процесу експлуатації;
5. Види екологічного впливу системи водовідведення на навколишнє середовище;
6. Економічність як показник якості експлуатації

### **Тема 17** *Зниження надійності каналізаційних мереж внаслідок корозії трубопроводів.*

Основні закономірності корозійних руйнувань бетонних і залізобетонних самотливних колекторів. Основні причини виникнення агресивного середовищу в трубопроводі. Хімізм корозії бетонних трубопроводів. Стадії біоруйнування каналізаційних труб. Етапи утворення агресивного середовища та їх вплив на матеріал труб. Заходи по захисту трубопроводів. Заходи по зниженню агресивності стічних вод. Натурні обстеження аварійних каналізаційних мереж. Склад і концентрація забруднень у стічних водах різних підприємств та їх вплив на каналізаційну мережу.

#### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Основні причини виникнення агресивного середовищу в трубопроводі;
2. Хімізм корозії бетонних трубопроводів;
3. Превентивні заходи;
4. Аналіз складу і концентрації забруднень у стічних водах різних підприємств та їх вплив на каналізаційну мережу.

### **Тема 18** *Методи підвищення надійності систем.*

Шляхи збільшення виробничого потенціалу систем каналізаційних мереж за умови досягнення потрібної якості експлуатації. Вимоги до якості будівельно-монтажних робіт. Порядок проведення якісного будівництва каналізаційних мереж. Вимоги до якості будівництва та монтажу насосних станцій. Вимоги до якості будівництва очисних споруд водовідведення. Пуско-налагодочні роботи на об'єктах водовідведення. Проведення оцінки якості експлуатації при плануванні робіт по вдосконаленню технічної експлуатації.

### ***Контрольні питання для самоперевірки***

1. Вимоги до якості будівельно-монтажних робіт;
2. Порядок проведення якісного будівництва каналізаційних мереж;
3. Вимоги до якості будівництва та монтажу насосних станцій;
4. Вимоги до якості будівництва очисних споруд водовідведення.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Національний стандарту України ДСТУ - Н Б У.2.5 40:2009.
2. ДСанПін 2.2. 4-171-10 Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» від 01.07.2010 №452/17747.
3. Постанова Кабінету Міністрів України від 5 травня 1997 р. № 409 «Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж.
4. Постанова КМУ «Про затвердження Порядку проведення обстеження прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва від 7 липня 2013р.
5. Селезнев В. Е. Математическое моделирование трубопроводных сетей и систем каналов: методы, модели, алгоритмы. / В. Е. Селезнев, В. В. Алешин., С. Н. Прялов. – Москва : МАКС Пресс , 2007. – 695 с.
6. ДБН В.2.5-74:2013 «Водопостачання зовнішні мережі та споруди».
7. Стандарт ISO 13760 «Пластмасові напірні труби для транспортування рідин. Метод розрахунку накопичених ушкоджень».
8. Основы надежности инженерных систем коммунального хозяйства / А. Я. Найманов., Н. Г. Насонкина, В. Н. Маслак, Н. И. Зотов. – Донецк : ИЭП НАН Украины, 2001. – 152 с.

*Навчальне видання*

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

для проведення практичних занять, лабораторних робіт, виконання курсової  
роботи та самостійної роботи  
з навчальної дисципліни

**НАДІЙНІСТЬ ВОДОПРОВІДНО-КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

*(для студентів 3 курсу денної і 2 курсу заочної форм навчання  
напрямку підготовки 6.060101 – Будівництво (фахове спрямування  
«Водопостачання та водовідведення»))*

Укладач **ДЕГТЯР** Марія Володимирівна

Відповідальний за випуск *С. С. Душкін*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *М. В. Дегтяр*

План 2014, поз. 82 М

---

Підп. до друку 17.02.2016  
Друк на ризографі  
Зам. №

Формат 60×84/16  
Ум. друк. арк. 3  
Тираж 50 пр.

Виконавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК 4705 від 28.03.2014 р.